Instrumentação Industrial - Retrofitting - Robótica - CLP - CNC

www.mecatronicaatual.com.br

MECATRÔNICA Atual

SABER

Ano 2 - nº7 - Dezembro/2002-Janeiro/2003 - Brasil: R$ 8,50 - Europa: € 4,30



Sensores Térmicos

Conheça os termistores NTC e PTC e saiba as suas principais características



Motores Elétricos

Entenda os vários tipos, princípios de funcionamento, manutenções preventivas e corretivas

ISSN 1676-0972

Tratamento Térmico

Saiba como é possível alterar a estrutura interna dos materiais e suas propriedades mecânicas

Problemas e SOLUÇÕES

Linguagem de Programação LADDER - AutoCAD

ÍNDICE

SEÇÃO DO



Linguagem Ladder

Parabéns pelo artigo “A linguagem de Programação Ladder” publicada na edição nº 5 da revista “Mecatrônica”, que dá ao leitor uma visão bastante clara desta linguagem utilizada também em nossos produtos. Atenciosamente

Luciano de Oliveira - Diretor de Tecnologia e Marketing - Atos Automação Industrial Ltda.

De fato essa linguagem é vitaç para Automação em chão-de-fábrica, por isso pretendemos continuar abordando o tema. Além disso, teremos uma nova seção: “Problemas e Soluções com CLPs”, onde alguns fabricantes (Metaltex, Phoenix Contact, etc.) descreverão “cases” reais em campo. Esperamos, através disso, auxiliar os desenvolvedores e técnicos.

Obrigado pelas considerações e continue colaborando com nossa “Seção do Leitor”

Mecatrônica Atual em Portugal

Boas! Após ter lido um número da vossa Revista, fiquei impressionado. Ela é muito boa, pela maneira como abordam os temas, etc. Freqüento o 5º ano de Engenharia Mecânica, Opção de Automação, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Portugal), e o projeto em que estou envolvido é precisamente um robô de estrutura cartesiana em que os seus atuadores lineares são de fusos de esferas. O número que adquiri da revista abordava justamente atuadores de fuso de esferas. Excelente! Atentamente!

Pedro Martins - Porto - Portugal

Ficamos satisfeitos que a Revista esteja auxiliando os nossos leitores de Portugal também. E mais ainda ao saber que um dos temas abordados era exatamente o que você precisava. Uma boa notícia para você é que pretendemos abordar em 2003 os robôs polares e manipuladores também. Confira!



Mesa XY

Sou assinante da revista “Mecatrônica Atual” e estou tentando montar a mesa XY controlada por motor de passo que foi publicada em fevereiro (revista nº 2). O problema é que não estou encontrando a tal mesa, se puderem me dar uma dica onde posso achá-la, agradeço. Obrigado.

Flávio Vaz

O fabricante da mesa XY utilizada no artigo da edição nº 2 é a Optron Micromecânica Óptica Ltda, que fica em Campinas (SP) e os telefones de lá são: (19) 3287-4707 ou (19) 3289-3950.

Motor Trifásico

Quero parabenizá-los pelos excelentes artigos publicados! Solicito que seja publicado um artigo ou informações sobre como controlar a velocidade de um motor trifásico, sem perdas de rendimento (torque em baixas rotações...); cálculos da potência-aplicação, acoplamentos... Desde já agradeço!

Thalis Mazzarino

Consulte o artigo “Inversores de Freqüência” na revista Mecatrônica Atual nº 2. Acreditamos que você poderá encontrar informações valiosas sobre o assunto.

Sugestão de artigos

Meu nome é Vinícius e faço Tecnologia em Mecânica, modalidade Mecatrônica, no CEFET-PR de Curitiba. Primeiramente quero parabenizar os editores e colaboradores pelo excelente trabalho que realizam, ainda mais por serem os pioneiros na área.

Estou escrevendo por apenas um motivo: tenho sentido falta de matérias e instruções sobre mercado de trabalho, áreas de atuação, trabalhos no exterior, experiências de profissionais já realizados... Enfim, um apanhado geral para os estudantes recém-formados se orientarem. Agradeço a atenção. Abraços.

Vinicius.

Sua sugestão é muito boa. É importante abordar não apenas os aspectos técnicos da Mecatrônica, mas também os seus aspectos sociais para orientar igualmente os estudantes e quem já trabalha na área. Vamos pensar nisso, OK?

Revista Nota 10

Trabalho no Setor de Automação da Mineração Rio do Norte (CVRD), em Porto Trombetas (PA). Toda a equipe de trabalho desta revista está de parabéns, pois suas edições têm contribuído muito aos meus conhecimentos e acredito que de muitos leitores que estão nesta mesma área de trabalho. Nota 10 para todos vocês. Muito obrigado.

Jorge Luiz Rodrigues Cordovil

Essa é uma informação muito valiosa para nossa equipe. E aproveitamos para dizer que abordaremos em breve as instalações classificadas que deve ser um bom assunto para vocês da CVRD.

Motorredutores



Gostaria de receber algum assunto que aborde um pouco mais sobre o motorredutor, para que eu possa realizar um estudo mais aprofundado. Ficaria grato.

Rafael

*Procuraremos trazer mais assuntos relacionados aos motoredutores. Até lá, você poderá acompanhar alguns artigos que vem sendo publicados na revista "Saber Eletrônica" ou ainda pesquisar na Internet, no endereço: **www.sew.com.br***

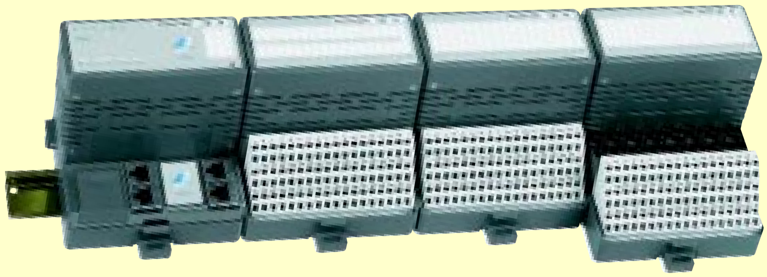
Controladores Lógicos Programáveis

Prezados Senhores! Gostaria de obter a informação sobre em quais exemplares foram publicados artigos abordando os Controladores Lógicos Programáveis, pois já tenho o nº3 de abril de 2002. Caso existam, onde posso encontrá-los? Desde já, agradeço.

Elcio Brockveld

Os artigos sobre CLPs foram publicados nos números 2, 3, 5 e 6, e continuará sua publicação por mais algumas edições. Na verdade, procuraremos trazer sempre matérias sobre CLPs na revista.

*Na edição número 4, apesar de não ter sido publicada uma matéria sobre CLP, os leitores puderam conferir um excelente artigo sobre linguagem de programação LADDER, que nada mais é do que a linguagem utilizada para programar CLPs. Caso você se interesse por alguma destas edições, poderá adquiri-la no nosso site (**www.mecatronicaatual.com.br/edicoes.htm**) ou então pelo telefone (11 6195-5333). No site, você poderá conferir também todos os assuntos que foram publicados em cada revista.*



Enviem suas mensagens para:

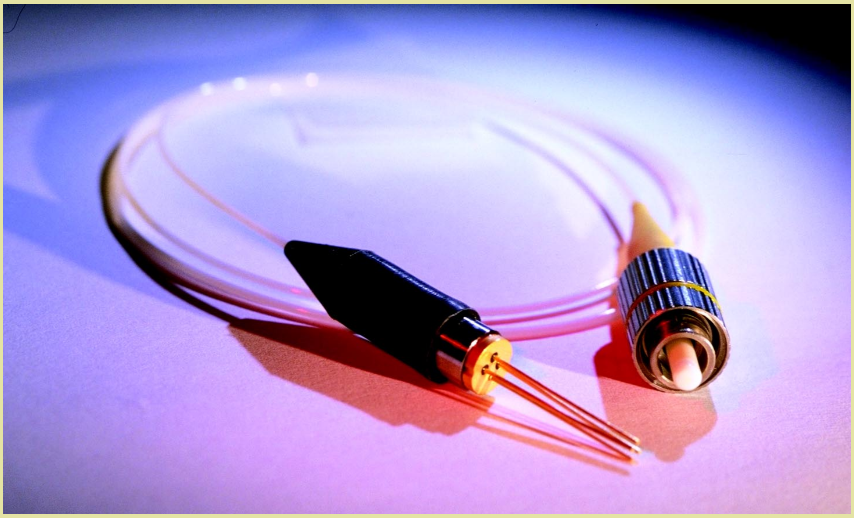
Editora Saber
Rua Jacinto José de Araújo, nº 315
CEP 03087-020 – São Paulo – SP – Brasil
E-mail: a.leitor.mecatronicaatual@editorasaber.com.br

MECATRÔNICA NOTÍCIAS

Newton C. Braga

Novo laser de 1310 nm para transmissão analógica

A *Applied Optoelectronics Inc.* (AOI) apresentou três novos laser analógicos de 1310 nm. Esses *lasers* são projetados para a transmissão analógica na faixa de 50 MHz a 860 MHz, faixa de freqüências usada para a transmissão de TV a cabo.



Além dessa aplicação, eles também são indicados para sistemas remotos de antenas. Como os *lasers* digitais da AOI, são resistentes a aplicações em regime de alta temperatura podendo, por isso, ser usados em ambientes hostis sem a necessidade de sistemas especiais de refrigeração. Os três *lasers*, designados por DFB-1310-C5-2A, DFB-1310-C5-2-A2 e FP-1310-C5-1.8-A, estão disponíveis de imediato.

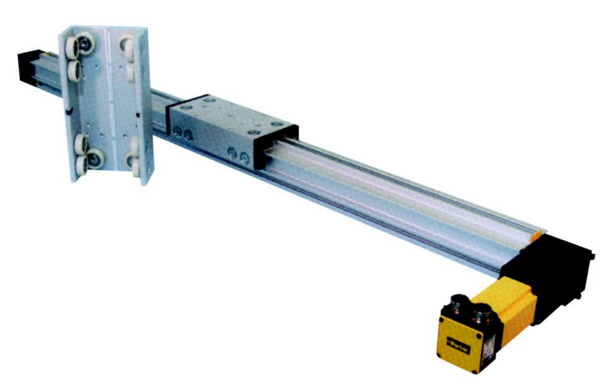
Os Lasers são montados em invólucros herméticos coaxiais do tipo TO-56, sendo compatíveis com a pinagem dos módulos coaxiais comuns. Mais informações em **http://www.ao-inc. com**

Cilindro elétrico ERV

A Parker Hannifin inova mais uma vez com o lançamento da nova linha de cilindros elétricos ERV (Value Series Rodless Linear Actuador). São atuadores eletromecânicos com correia, disponíveis nos perfis de 56mm e 80mm. Sendo esta uma extensão da linha ER, possui capacidade de carga de até 4480N, velocidade de até 5m/sec, repetibilidade de + ou – 0,102mm, comprimento de até 6m, acionamento por servomotor ou motor de passo, redutores de até 10:1 e correia interna.

Além disso, possui diversas opções de acionamento e reduções já acoplados nos eixos, sendo um produto modular, facilmente integrado a estruturas em perfil de alumínio. Sua dimensão pode ser especificada em incrementos de 100mm, com opcionais de amortecedores, sistema antidetrito e sensores de posicionamento.

Com tais vantagens, este produto é uma solução de montagem simples e custo reduzido para atingir empresas que necessitam de movimentação linear de um ou vários eixos. Maiores informações no site: **www.parker.com.br**



Problemas e SOLUÇÕES

Operador do laboratório de testes de máquinas de lavar roupa leva choque ao conectar a fiação do CLP para aquisitar informações digitais de estado "ligado" e " desligado" de componentes internos da máquina.

Paulo Cesar de Carvalho

Recentemente, me deparei com um problema com características singulares por se tratar de um laboratório de testes de eletrodomésticos.

O operador reclamava de choques elétricos ao conectar a fiação para monitorar o estado de "ligado" e "desligado" dos componentes internos de uma máquina de lavar durante ensaios de longa duração.

Um sistema com CLPs, mostrado na **figura 1** já estava instalado. Neste sistema, o operador conectava um fio comum e os demais fios nos componentes da máquina de forma que quando o componente estava "ligado" era aplicada uma ddp na entrada digital do CLP. Analisando os circuitos perce-

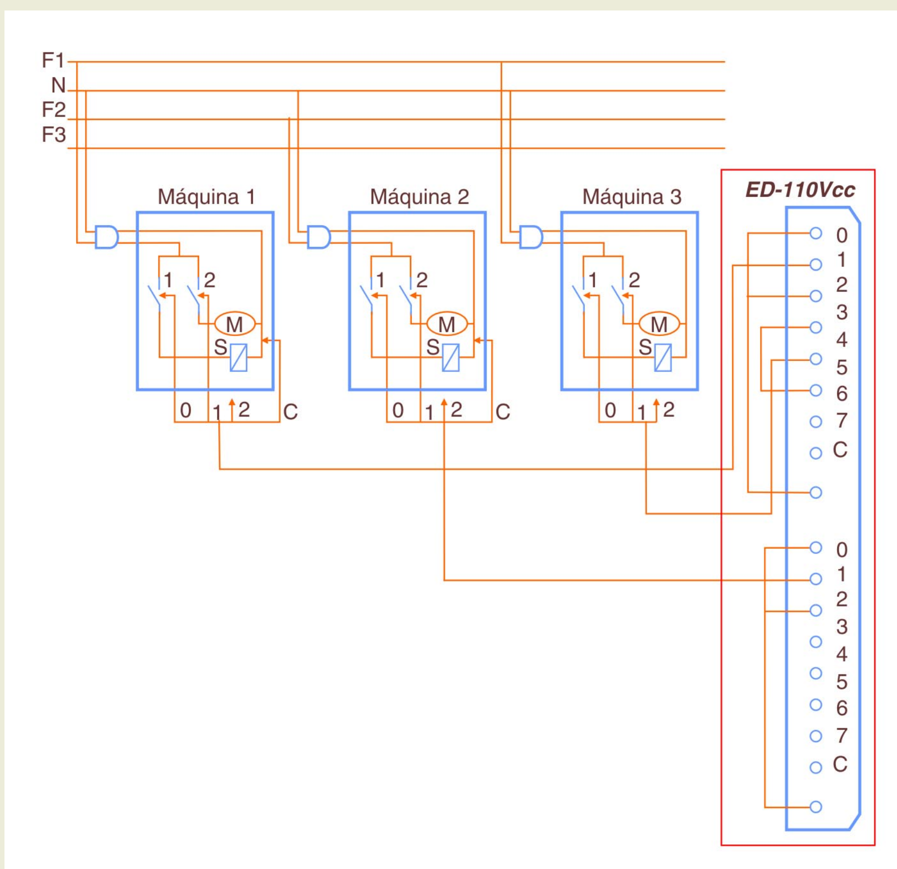


Figura 1- Situação inicial – Ocorria retorno em função de ser conectada mais de uma máquina em um octeto do CLP, que possuía um ponto comum para cada 8 pontos de entrada digital.

bi que o retorno de tensão ocorria devido ao cartão de entrada digital ter um único ponto comum para cada octeto de pontos (8 pontos) e que havia mais de uma máquina conectada a um mesmo octeto. Assim, mesmo que não houvesse energia em uma máquina, poderia ocorrer um choque se a outra máquina conectada no mesmo octeto do CLP estivesse energizada e sob teste. Toda a fiação entre as máquinas e o CLP já estava feita e a solução deveria alterar o mínimo possível essa fiação.

SOLUÇÃO

1. A idéia para a solução do problema era isolar eletricamente o sinal adquirido de cada componente da máquina de lavar do sinal que ia para o CLP, sem contudo alterar a fiação de campo que já estava pronta.

2. Foram cogitadas duas soluções: A primeira utilizando relés, cuja bobina seria conectada em paralelo com o componente da máquina e os contatos aplicariam tensão no módulo de entrada do CLP. O problema, neste caso, é que a tensão nos componentes da máquina poderia chegar a 300 Vac e não havia no mercado relés com bobina que suportasse essa tensão. Além do problema de fadiga que o relé teria, pois como o ensaio era de longa duração, ele seria atuado muitas vezes por dia e em um curto intervalo de tempo os contatos apresentariam problemas.

3. A segunda solução foi a de se utilizar opto-acopladores. Como cada conjunto de máquinas era testada em uma tensão específica, por exemplo: 98 Vac, 110 Vac, 132 Vac, 220 Vac, 242 Vac e 272 Vac , a solução foi desenvolver um opto-acoplador que proporcionasse uma saída "ligada" para tensão de entrada na faixa de 60 a 300 Vac e saída "desligada" para tensão de entrada menor que 60 Vac. Foi escolhida a tensão de 110 Vac para a saída do opto. Assim, se a tensão da entrada fosse maior que 60 Vac, situação do componente ligado, a saída correspondente do opto era ligada, aplicando 110 Vac no módulo de entrada do CLP. O opto-acoplador, sendo um componente de estado sólido, não está sujeito a problemas de fadiga inerentes aos contatos de um relé que aciona várias vezes por dia.

CONCLUSÃO

A **figura 2** exibe a solução com opto-acoplador. Com a isolação entre a entrada e saída individual de cada ponto, proporcionada pelo opto-acoplador, não ocorreu mais o retorno de tensão e não aconteceram mais choques elétricos. Toda a fiação de campo foi mantida, sem precisar de alterações, o que garantiu um tempo de implantação dentro da expectativa do cliente.

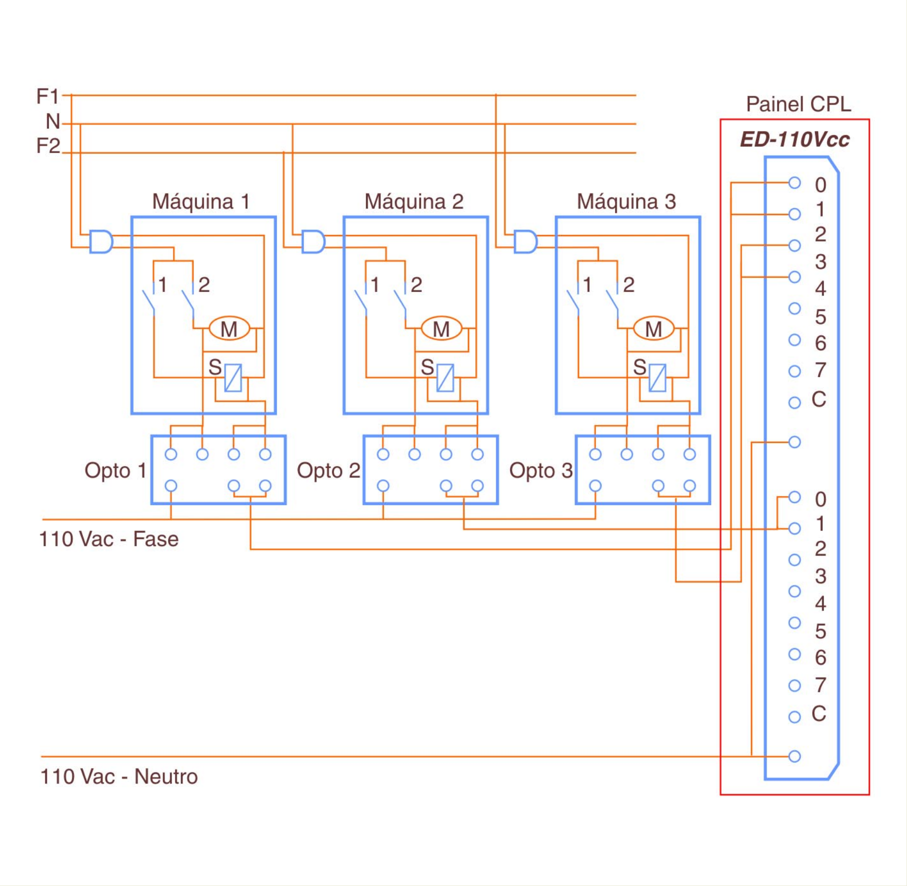


Figura 2 – Configuração final com opto-acopladores . Observar que cada entrada do opto possui dois conectores e o operador passou a ligar dois fios para cada componente que desejava monitorar. A saída do opto foi padronizada em 110 Vac, e todos os pontos de entrada digital do CLP passaram a ser referenciados a uma mesma tensão. Não ocorreram mais problemas de choques elétricos.

Máquina queima algumas peças no terceiro turno

Juliano Matias

Certa vez fui chamado por uma empresa para socorrer uma máquina que fazia "coisas esquisitas". Essa máquina realizava um processo de aquecimento em uma determinada peça, e no terceiro turno (período da noite) sempre queimavam algumas peças.

Pois bem, fui lá e levei todos os equipamentos possíveis e imagináveis para se detectar tal problema. Instalei o *notebook* no PLC, coloquei um canal do osciloscópio para medir a tensão da rede e o outro canal para medir a corrente da máquina (através de um TC e um conversor I/V). E esperei até começar o terceiro turno. O turno começou, terminou e não queimou nenhuma peça. Achei estranho, pois não constatei nada de anormal no processo com toda a parafernália técnica instalada. Retornei a noite seguinte, e nada.

Resolvemos não voltar lá até que o problema voltasse a acontecer, mas por vias das dúvidas coloquei um "pega peão" no programa do PLC. O "pega peão" tem a finalidade de verificar se o operador não faz nenhuma besteira durante a operação da máquina. Passou uma semana e nada, até que na semana seguinte o supervisor da área me ligou e disse que o problema tinha voltado a se repetir. Voltei na empresa e verifiquei o "pega peão", e para a minha surpresa, o operador do terceiro turno tinha alterado alguns parâmetros pela IHM e entre eles estavam alguns tempos vitais para a boa operação da máquina.

Como os parâmetros Default são reinicializados a cada início de turno, o problema não se propagava para os outros turnos. E na minha primeira ida para a empresa o problema não ocorreu, pois naquela semana o operador "problema" estava de folga.

SOLUÇÃO ADOTADA

Foram colocadas algumas confirmações a mais na IHM para no caso do operador ter que alterar algum parâmetro, ele o faça com absoluta consciência.

E foi realizado um treinamento interno sobre os processos envolvidos para cada tipo de peça produzida pela fábrica. Com isso o "problema" não apareceu mais.

Nota: esse tipo de problema é muito frequente nas empresas.

Cilindro de fechamento lateral do molde não estava atuando

Juliano Matias

Fui a uma empresa fabricante de rodas de liga leve, atendendo a um chamado técnico. Chegando lá, fui até a máquina em questão. A máquina era uma injetora de rodas, isto é, injetava alumínio (ou alguma liga especial) dentro de um molde que era constituído por quatro cilindros hidráulicos, sendo três para o fechamento das laterais e o outro para o fechamento do frontal da roda que vinha de cima para baixo e, então, o alumínio era injetado de baixo para cima, obviamente com o molde fechado.

A reclamação do cliente era que um dos cilindros de fechamento lateral do molde não estava atuando.

Verificando a máquina, constatei que a válvula de atuação do avanço do cilindro em questão queimou a placa de saída digital do CLP.

Em casos como esse que a máquina precisa funcionar de qualquer maneira, temos duas saídas: ou tentamos mudar o ponto de saída do CLP para outro ponto reserva via software, ou então trocamos a placa do cliente por uma nova (que sempre devemos levar ao cliente em uma assistência técnica) cobrando evidentemente para isso caso seja mau uso.

Já com a válvula trocada e como tínhamos a placa do CLP conosco, resolvemos trocá-la também para a nossa infelicidade. Aconteceu que a placa que trouxemos estava defeituosa e não havia sido detectado esse problema pelo até então "super estagiário" que era responsável por testá-la.

Ao colocar a placa e ligar o CLP, começou a jorrar alumínio líquido da máquina com o molde aberto, isto porque tinha um ponto do módulo de saída digital que estava acionado diretetamente mandando 24V para a saída do cartão acionando, com isso, a válvula para a liberação do alumínio.

Ainda bem que não ocorreram maiores danos, mas tomei isso de lição para duas coisas:

- nunca confie em um estagiário;
- a Lei de Murphy existe.

E trocando a placa por uma nova, o problema finalmente foi resolvido.

Tratamento térmico

Douglas Ribeiro dos Santos

Em um artigo anterior intitulado "Elementos de Máquinas", abordamos alguns fatores relativos aos componentes mecânicos, a saber: resistência , corrosão, desgaste, ruído e vibração. Dissemos que resistência é uma propriedade inerente à peça devido ao seu material, tratamento térmico a ela aplicado e ao processo de fabricação utilizado para a sua produção.

Apresentamos na oportunidade conceitos e propriedades mecânicas de grande importância, como dureza, ductilidade e fragilidade através de gráficos do diagrama tensão x deformação.

Desta vez, queremos expor como, por meio de tratamentos térmicos e termoquímicos, é possível alterar a estrutura interna do material e exercer uma extraordinária influência sobre as propriedades mecânicas e os fatores descritos acima.

Discorrer sobre tratamento térmico é tratar de processos como a têmpera, o revenimento, o recozimento, a normalização, a cementação, entre outros que iremos abordar ao longo desta leitura.

Esses processos são aplicáveis na grande maioria aos aços, e sua importância é tal que um aço tinha como principal característica a condição de ser temperável, hoje tem sua definição muito mais abrangente, embora os tratamentos térmicos continuem tendo grande importância.

Tratar uma peça termicamente implica basicamente em aquecê-la a uma determinada temperatura, deixá-la nesta temperatura por um período de tempo, e em seguida resfriá-la de maneira controlada, ou seja, tratar termicamente é aplicar um ciclo térmico à peça que se deseja trabalhar.

O material tratado termicamente na indústria que mais nos interessa é o aço, e para falar sobre ele se faz necessária a introdução de alguns conceitos de estrutura de materiais, falar da liga Ferro – Carbono (Fe – C), além de relacionar estes conceitos com a variação de temperatura.

Outros metais não menos importantes são os elementos de liga, porém estão aplicados em porcentagens muito baixas ou em peças específicas. Os aços com elementos de liga são denominados de "aços-liga", pois, além do carbono, contêm outros elementos de liga especiais.

Na indústria, costuma-se usar aços produzidos em larga escala e, portanto, com menor custo: são aqueles sem elementos de liga, fornecidos em dimensões padronizadas como produtos semi-acabados, pré-forjados ou laminados (oferecidos sob a forma de lingotes, chapas ou barras) ou acabados, disponíveis na forma de chapa, tubo, fitas e arames, muito interessantes, principalmente por causa de sua resistência.

Quando em razão de uma necessidade específica ou aplicação especial os aços básicos (ou comuns) não atendem satisfatoriamente, busca-se usar aços-liga, também chamados de alta liga (uma vez que os

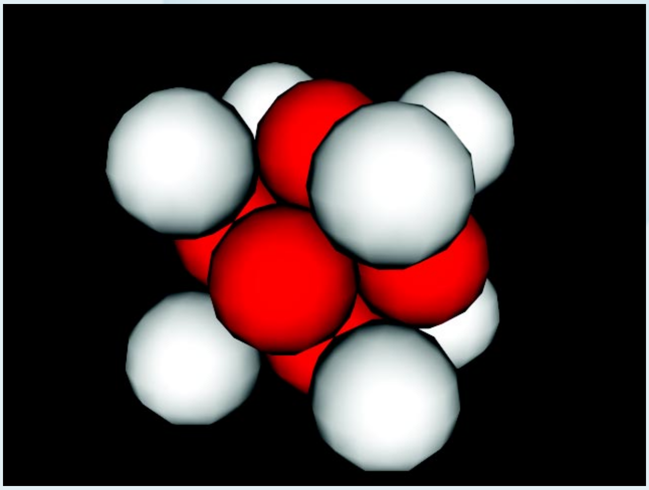


Figura 1 - Estrutura cúbica de face entrada (C.F.C.).

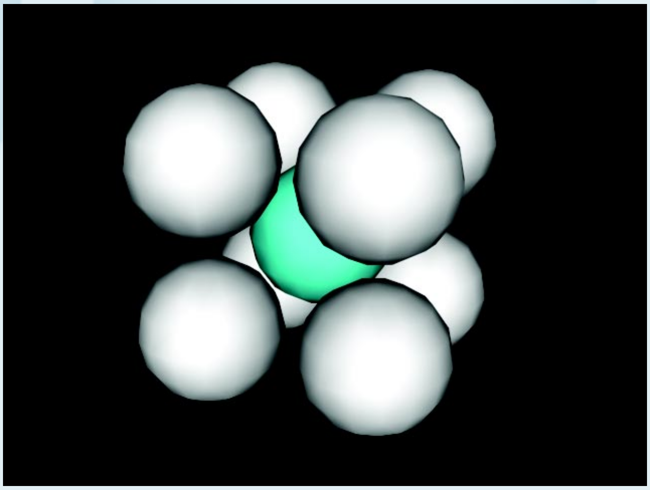


Figura 2 - Estrutura cúbica de corpo centrado (C.C.C.).

aços sem elementos de liga contêm pequenos e inevitáveis teores de elementos de liga como, por exemplo, o níquel e o cromo). Os aços de alta-liga, também conhecidos por aços nobres, têm um custo bem mais elevado, pois os elementos de liga estão em proporções bem definidas e conferem propriedades interessantes aos aços. Vejamos alguns exemplos:

Carbono **:** O carbono eleva os limites de resistência à tração, ao escoamento e também à dureza do aço, porém reduz a ductibilidade, e quanto mais carbono no material, mais difícil a usinagem, a soldagem e processos de forjamento. Associado a outros elementos de liga e ao tratamento térmico, é possível associar a resistência que o carbono confere sem perder muito a ductibilidade.

Fósforo : O fósforo aumenta a resistência à ferrugem. Misturado com o enxofre melhora a usinabilidade, porém altos teores deste elemento no aço são prejudiciais, pois causam uma certa fragilidade. Entretanto, em pequenas proporções melhora a resistência, o teor máximo está em torno de 1,5 %.

Níquel e Cromo : Melhoram a resistência à corrosão, ao calor, aos ácidos, sendo comum associar os dois materiais em uma mesma liga.

Manganês : Melhora a resistência ao choque e ao desgaste por atrito.

Tungstênio : Promove a dureza e resistência a altas temperaturas.

Silício : Promove a formação de grafite e atribui resistência aos ácidos, reduz a deformidade causada pelo frio, portanto em processos de estampagem as porcentagens devem ser muito bem controladas.

Molibdênio : Este elemento protege eficazmente o aço contra a fragilidade decorrente do revenimento, elevando a resistência do aço para altas temperaturas.

Vanádio : Melhora a resistência às altas temperaturas e a capacidade de ferramentas de corte resistirem ao superaquecimento durante os processos de usinagem.

Alumínio : Age como desoxidante.

Enxofre : Melhora a usinabilidade, porém reduz a resistência à fadiga.

Apesar destas importantes propriedades, deve-se ter em mente que os elementos de liga estão presentes em toda a estrutura do material, sendo que o fabricante fornece atestado descrevendo quais são os elementos da liga e quais suas porcentagens. Isso requer maior controle do processo de fabricação e encarece consideravelmente o produto, pois o fabricante desconhece qual aplicação o cliente dará para o material, se para a produção de uma peça de avião ou para um eletrodoméstico.

Dependendo da aplicação, não é interessante que a peça seja dura desde sua camada superficial até o núcleo, ou que seja dúctil no interior e também nas extremidades. Na verdade, o que estamos esclarecendo aqui é que, na indústria, o que desejamos é que o componente mecânico, o elemento de máquina tenha determinadas características decorrentes de sua aplicação. Muitas vezes não é interessante ter um material que possua as mesmas propriedades ao longo de toda a sua estrutura.

O tratamento superficial nos dá a possibilidade de mudar as características internas ou externas não apenas do material, mas da peça acabada, de maneira que impomos à peça as características necessárias para sua aplicação.

É importante lembrar que para especificar um material para determinada aplicação é necessário conhecer bem as características dos materiais e as concentrações básicas de acordo com a aplicação, tarefa indicada para um profissional graduado na área. Já para o tratamento térmico, entrando-se em contato com as empresas especializadas, obtem-se todo o suporte e conhecimento que elas adquiriram ao longo dos anos.

CONCEITOS

Como foi dito anteriormente, abordaremos basicamente a liga Fe-C, ou seja, os aços em geral para apresentar os conceitos de tratamento térmico.

O ferro, o elemento em maior quantidade na liga, é derivado de minérios que, na natureza, reúnem alguns elementos; os minérios de

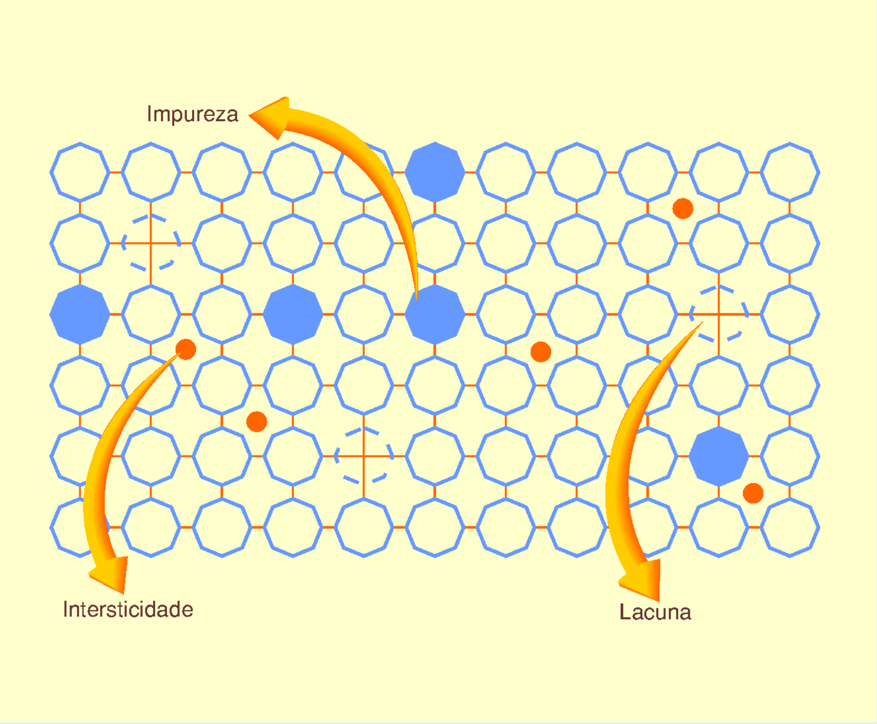


Figura 3 - Defeito (ou falhas) da estrutura cristalina.

ferro mais conhecidos são a hematita, a siderita, a limonita e a magnetita.

Ainda que o nosso interesse seja saber o que acontece com a liga quando a aquecemos ou resfriamos, é bom ter em mente que o ferro na forma pura se funde a 1.539 ºC.

Os átomos de um metal no estado sólido se arranjam de uma forma bastante definida, de maneira ordenada e que se repete em todas as direções. Este arranjo metálico é conhecido como estrutura cristalina.

A estrutura cristalina é formada de células unitárias, as quais representam um conjunto de átomos que estão dispostos de forma específica, compondo uma figura geométrica definida O ferro pode assumir diferentes estruturas cristalinas, dependendo da temperatura e porcentagem de carbono presente na liga, vejamos duas delas. Na estrutura cúbica de face centrada (C.F.C.) – vide **figura 1**, os átomos estão dispostos nos vértices e no centro das faces de um cubo imaginário; na estrutura cúbica de corpo centrado (C.C.C.) – vide **figura 2**, os átomos estão dispostos nos vértices e no centro do cubo, esta é a estrutura do ferro a temperatura ambiente e é chamado de ferro α**,** e na (C.F.C.) é chamado de ferro γ.

Alotropia ou poliformismo é a propriedade de alguns materiais possuírem estruturas cristalinas diferentes de acordo com a temperatura a que estão submetidos sob mesma pressão atmosférica. O ferro muda para a estrutura (C.F.C.) na temperatura logo acima de 911 ºC.

É interessante observar que quando o ferro está na condição γ**,** as esferas atômicas estão dispostas de maneira mais densa que no ferro α, ou seja, com o aumento da temperatura o peso específico aumenta, o que acontece é que os átomos vibram oscilando com maior intensidade em torno de suas posições espaciais, abrindo espaços para outros átomos ocuparem. Na prática, chamamos este fenômeno de dilatação térmica, e se aumentarmos a temperatura até o ponto de fusão, a vibração dos átomos será tão intensa que a estrutura cristalina desmoronará, e o ferro assumirá então a forma líquida.

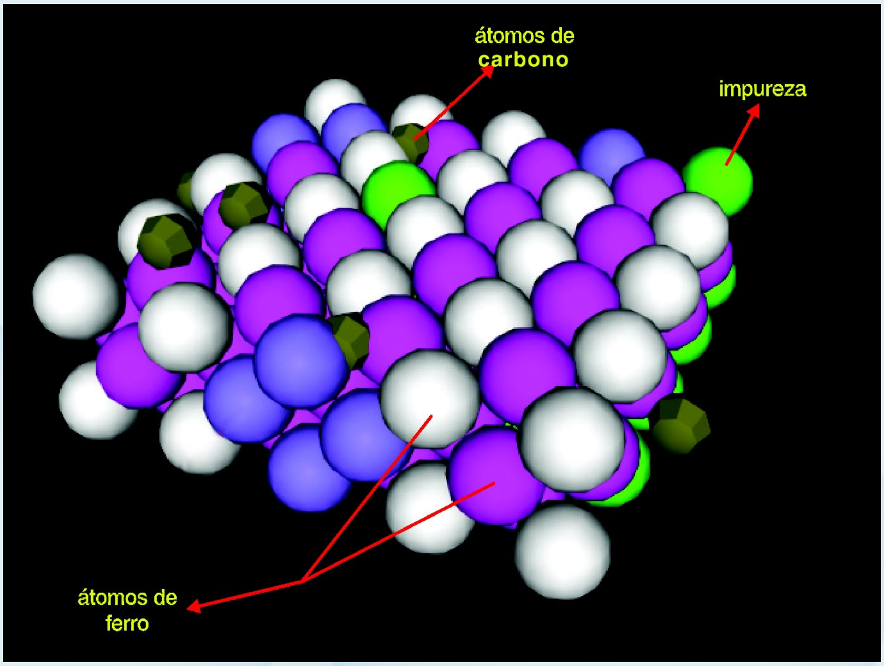


Figura 4 - Estrutura cristalina da liga Fe - C.

Outro conceito importante em relação à estrutura cristalina é quanto aos defeitos ou falhas que ela apresenta, pois na realidade uma peça de ferro não possui uma estrutura cristalina perfeita. Na verdade, a estrutura cristalina apresenta lacunas, impurezas e intersticidades, vide **figura 3**.

Até então falamos apenas do ferro, mas e a liga Fe-C ? O diâmetro do átomo do carbono é próximo de 1,5 Å (diâmetro atômico) e o tamanho do átomo do ferro é próximo de 2,5 Å, de maneira que, quando juntos em uma determinada proporção, podem assumir uma estrutura cristalina parecida com a da **figura 4** estrutura do aço com elementos de liga.

DIAGRAMA Fe - C

Os diagramas de fase podem ser usados como ferramentas no estudo dos tipos de tratamento, sendo bastante conhecidos no meio industrial (área mecânica).

São representações do que acontece com uma determinada liga em condições de equilíbrio químico e térmico.

A estabilidade se refere aos níveis de composições e de temperatura da liga e mostra as áreas de estabilidade das fases puras e de fases combinadas (compostos).

Nós iremos nos ater às ligas ferrosas, as quais são tratáveis termicamente. Uma liga tratável termicamente é uma liga em que se pode alterar suas propriedades através da aplicação de um ciclo térmico.

Para melhor entendimento do diagrama **Fe – C**, vejamos um diagrama mais simples, o diagrama da liga de **Cobre e Níquel** – vide **figura 5**. Baseado nele, podemos perceber que as transformações ocorrem a partir da mudança de duas variáveis, a temperatura e a composição da mistura. Observemos que o cobre puro se funde a 1083 ºC e que o níquel puro se funde numa temperatura bem superior (a 1455 ºC); acima da linha *liquidus* a mistura (liga) e os componentes estão totalmente no estado líquido e abaixo da linha *solidus*, a mistura e os componentes em estado puro estão no estado sólido; a área delimitada entre as linhas *liquidus* e *solidus* compreendem uma mistura pastosa, ou melhor dizendo com cristais sólidos e fases líquidas; no eixo das ordenadas totalmente a direita temos 100% de

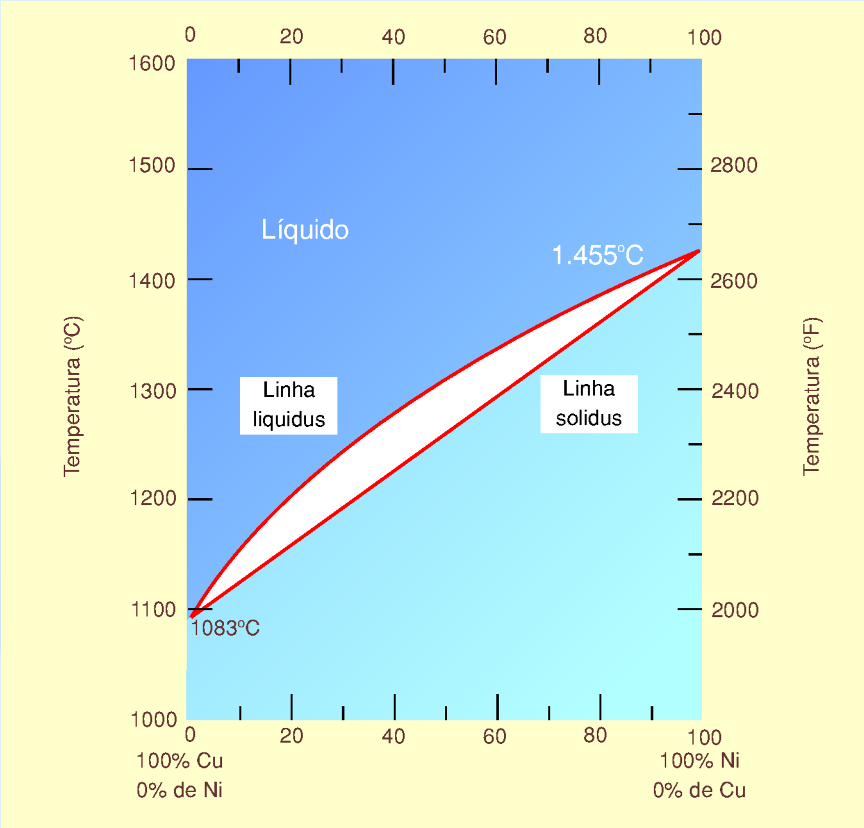


Figura 5 - Diagrama da liga Cu - Ni.

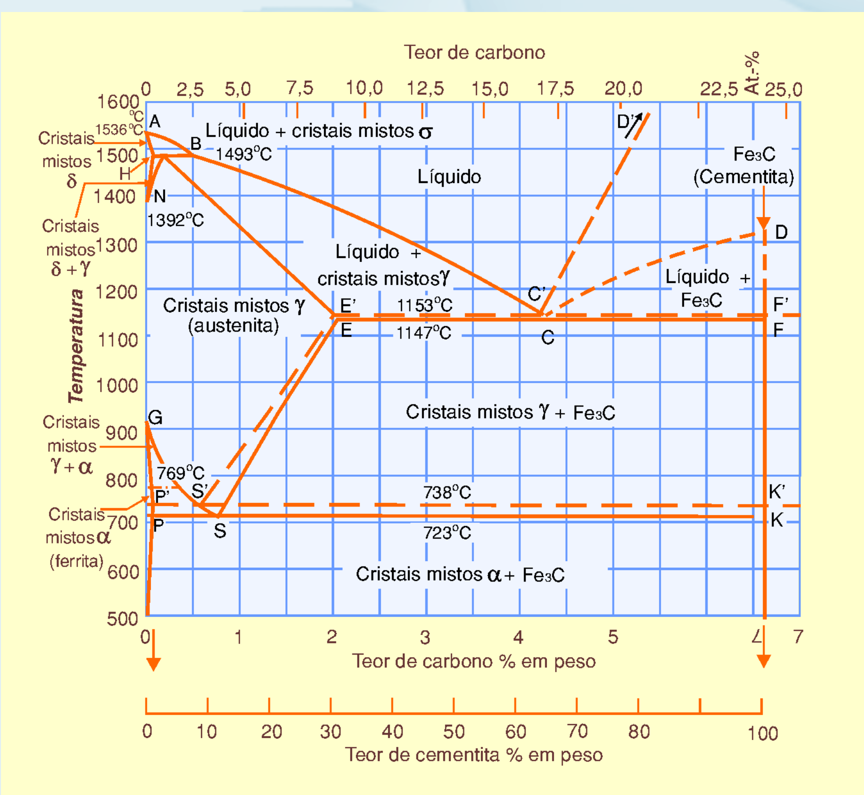


Figura 6 - Diagrama da liga Fe - C.

Níquel e no eixo das ordenadas totalmente a esquerda temos 100% de cobre. Conforme se desvia do eixo das ordenadas à esquerda e dirige-se em direção ao eixo da direita, diminui-se a porcentagem de cobre e aumenta-se a porcentagem de níquel, exatamente no centro do eixo das abcissas tem-se uma liga com 50% de cada componente.

O **Diagrama Fe - C,** que é o diagrama de estado da liga Ferro e Carbono - vide **figura 6**, também possui uma região acima da qual temos apenas líquido. Na extrema direita temos um composto chamado cementita, que contém aproximadamente 6,7% de carbono, sendo que acima deste valor já não há interesse comercial no estudo da liga.

O diagrama também mostra o ponto de fusão do ferro puro que comentamos anteriormente, ou seja, 1536 ºC. À medida que nos afastamos do eixo da esquerda, aumentamos a quantidade de carbono na liga e diferentes compostos vão se formando.

O ponto C no gráfico indica que nessa porcentagem de carbono, ou de mistura do ferro com a cementita, ocorre a fusão da liga com maior facilidade e na menor temperatura.

O nosso interesse está em um diagrama parcial do diagrama **Fe – C,** pois um aço já é considerado duro com uma porcentagem de carbono acima de 0,5 %, e um aço extremamente duro tem em torno de 1,0 % de carbono.

O diagrama parcial da liga **Fe – C** está apresentado na **figura 7**, e é de melhor compreensão. Os próximos comentários estão relacionados a este gráfico :

- Como dissemos, até a temperatura de 910ºC o ferro possui estrutura cristalina cúbica de corpo centrado e é chamado de ferro alfa, ferrita é uma solução sólida de carbono dissolvido no ferro alfa. Na temperatura ambiente, cerca de 0,008% de Carbono se dissolve no ferro alfa e esta solubilidade aumenta com o aumento da temperatura, na temperatura de 723ºC a solubililidade do carbono é máxima e chega a 0,02%.

- Entre a temperatura de 910ºC e 1390ºC , o ferro possui estrutura cris-

talina cúbica de face centrada e é chamado de ferro gama, ou seja austenita, que é uma solução sólida de carbono dissolvido no ferro gama, sendo que a solubilidade máxima do carbono no ferro gama ocorre na temperatura de 1147ºC com 2,06% de carbono. Na temperatura de 723ºC a solubilidade do carbono no ferro gama é de 0,8%.

- As ligas de ferro-carbono com porcentagem de carbono maior que 2,06% de carbono são denominadas de ferros fundidos; já os aços com porcentagem de carbono inferior a 0,008% de carbono são considerados como ferro comercialmente puro.

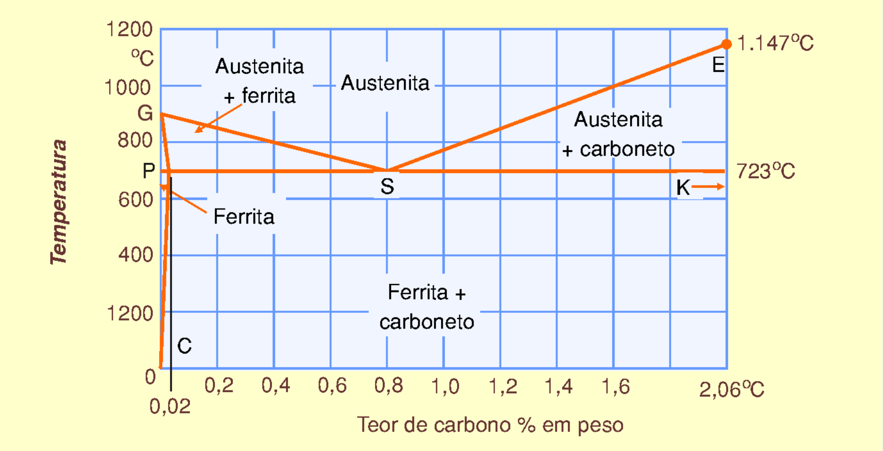


Figura 7 - Diagrama parcial Fe - C.

*O que acontece com uma peça de aço com 0,8% de carbono a 1.150ºC quando se inicia um processo de resfriamento lento (acompanhar no gráfico da **figura 6**)?*

A porcentagem de carbono está inicialmente totalmente dissolvida na austenita, ou seja, na estrutura cristalina CFC. Quando o resfriamento alcança o valor de 723ºC, a austenita não pode se manter abaixo desta temperatura e se transforma, e a estrutura agora é a ferrita, que não pode dissolver esta quantidade de carbono. Ocorre, então, a difusão do carbono de maneira que se formam placas de ferrita e carbonetos, ou seja, um composto heterogêneo chamado ferrita+carbonetos.

Difusão é a fuga dos átomos de ferro e de carbono dentro da estrutura espacial formada pelos átomos. Estes migram de vazio em vazio, de interstício para interstício, **isto leva um certo tempo**.

*O que acontece com uma peça de aço com 0,8% de carbono a 1.150 ºC quando se inicia um processo de resfriamento **rápido** ?*

Quando aplicamos um resfriamento rápido em uma peça, a temperatura de transformação de austenita para ferrita + carbonetos cai para um valor bem abaixo dos 723ºC do diagrama e, na realidade, os átomos de carbono perdem sua mobilidade, pois antes que eles consigam saltar ou migrar da rede espacial da austenítica para carbonetos, a temperatura já está muito baixa, de maneira que a difusão vai parando, e os átomos de carbono alojados na cadeia austenítica (CFC) não cabem na estrutura da ferrita (CCC) que está se formando. Isto não só deforma a estrutura cristalina, como pode até rompê-la.

A retenção dos átomos de carbono na estrutura (CCC) cria grandes tensões internas, de maneira que a superfície fica extremamente dura, sendo que a esta ocorrência chamamos de têmpera !

Em função da altas tensões internas, o aço também torna-se frágil, devendo receber um tratamento de elevação da temperatura para um valor pré-determinado para que os átomos possam se rearranjar, reduzindo considerávelmente a fragilidade e, com certeza, perdendo um pouco da dureza, mas possuindo ainda uma dureza bem acima da que teria se fosse resfriado de maneira lenta, a este processo chamamos de revenimento.

Depois desta explicação sobre o que ocorre na estrutura interna do material, podemos explanar com mais facilidade os principais tratamentos conhecidos no mercado.

TIPOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

Pode-se classificar os tipos de tratamento térmico em tratamentos com simples aquecimento e resfriamento e tratamentos com

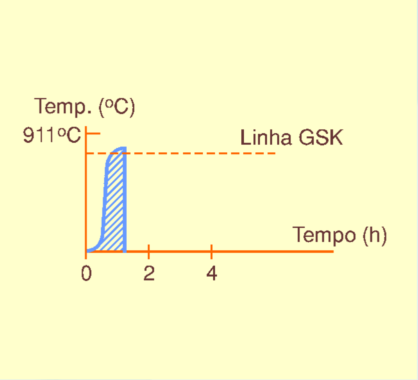


Figura 8 - Têmpera.

aquecimento e resfriamento com reações químicas.

Tratamentos com simples aquecimento e resfriamento

Têmpera

O aço é aquecido a uma temperatura igual ou um pouco acima do ponto de transformação da estrutura e em seguida é resfriado bruscamente pela imersão na água, no óleo ou mesmo no ar; cada um destes ambientes produz um tipo específico de transformação, a temperatura destes meios afeta diretamente o resultado do tratamento térmico.

O resultado esperado da têmpera é um aço endurecido e é o que se consegue com este processo. No entanto, o aço torna-se também frágil, como o vidro que é muito duro, mas também é frágil. Assim torna-

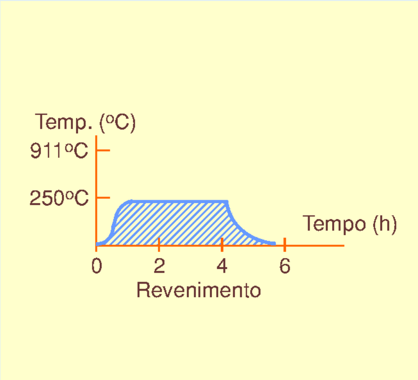


Figura 9 - Revenimento

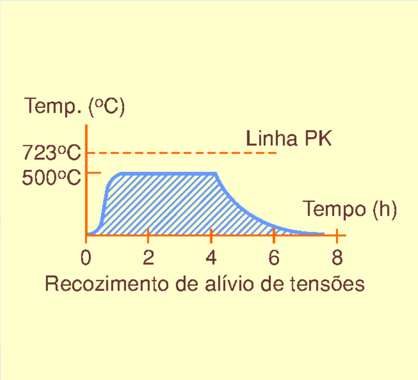


Figura 10 - Recozimento.

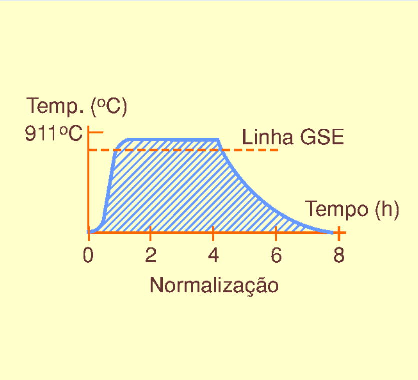


Figura 11 - Normalização

se o aço depois de receber o tratamento da têmpera.

A têmpera só é realizada em aços com no mínimo 0,4% de Carbono, ou seja, aços 1040 de acordo com a norma brasileira. Aqueles com menor quantidade de carbono, por exemplo 1020 (0,2% de carbono), não devem sofrer processo de têmpera diretamente, pois não se consegue bom resultado; a **figura 8** - gráfico representativo da têmpera - mostra que, após um aquecimento, chega-se a temperatura de transformação da estrutura e logo depois realiza-se o resfriamento de forma brusca, considerando que o tempo gasto para baixar a temperatura da faixa de têmpera até a temperatura ambiente é quase nulo, guardadas as devidas proporções.

Revenimento

Para retirar a fragilidade do aço, depois da têmpera realiza-se o revenimento. O aço é então aquecido a uma temperatura abaixo do ponto de transformação, valor bem abaixo do valor do processo de têmpera (este valor varia um pouco, a título de referência podemos citar uma faixa em torno de 150ºC à 350ºC) lembrando que, quanto mais alta a temperatura do revenimento, mais se perde a dureza, em seguida o aço é resfriado, geralmente de forma lenta. Este valor de aquecimento permite que as moléculas que depois da têmpera ficaram extremamente desarranjadas possam agora se arranjar, resultando no alívio das tensões e, conseqüentemente, na redução da fragilidade, vide **figura 9 -** gráfico representativo do revenimento.

Recozimento

O recozimento recupera o aço temperado prejudicado pelo superaquecimento, melhorando o arranjo estrutural. Neste processo pretende-se anular as tensões internas.

Sobre o recozimento podemos dizer que existem dois tipos basicamente: um ***recozimento de alívio de tensões (vide figura 10)*** e um ***recozimento de redução de dureza***. Não é difícil deduzir a esta altura que o primeiro se processa em uma temperatura inferior à do segundo. A temperatura do primeiro está em torno de 500ºC, enquanto que o recozimento de redução de dureza precisa alcançar temperaturas um pouco abaixo de 700ºC, lembrando que a temperatura de transformação da estrutura cristalina é de 723ºC. Entretanto, quando o aquecimento é realizado de forma rápida, a estrutura se altera um pouco abaixo deste valor, a diferença aqui é que o tempo de resfriamento é bem mais longo que no revenimento, e quanto mais longo, menos tensões internas.

O resfriamento neste caso se dá dentro de cinzas, cal ou areia, existe um recozimento chamado de NORMALIZAÇÃO, aplicável a aços laminados, fundidos ou forjados, como o próprio nome sugere, o que ocorre é a recuperação da estrutura do aço, vide **figura 11** - normalização.

Têmpera superficial

A têmpera superficial é um recurso interessante em termos de custo e de tempo, uma vez que o aquecimento superficial do material pode ser realizado por chamas, por exemplo, através de maçarico ou em fornos específicos para realizar este aquecimento rápido, aplicável a peças relativamente pequenas, tais como parafusos, onde se deseja que a camada superficial seja dura com o corpo resistente a tensões.

Tratamentos com aquecimento e resfriamento com reações químicas

Cementação

Dissemos que aços com baixo teor de carbono não "pegam" têmpera justamente por causa do conceito de difusão do carbono na estrutura cristalina. Através da cementação podemos adicionar carbono à camada superficial do material, e em seguida realizar a têmpera. A cementação seguida da têmpera é aplicável a peças onde é desejável que o núcleo seja dúctil, resista a uma sobrecarga de tensão e a camada superficial seja dura, e um bom exemplo onde se aplica este tipo de tratamento é em engrenagem.

A cementação consiste em aquecer a peça a uma determinada temperatura e deixá-la assim por um longo período de horas. Juntamente com a peça colocamos algum material rico em carbono, que pode estar na forma de pó, pasta ou mesmos ga-



Figura 12 - Cementação.

ses, a atmosfera rica em carbono possibilita à peça absorver o carbono existente e fixá-lo em sua camada superficial.

A cementação só permite a adição de carbono pela peça. Assim, para aumentar a dureza é preciso realizar posteriormente a têmpera, seguida do revenimento, vide **figura12** – que representa o processo da cementação seguido de têmpera e revenimento.

É de fato notável o que se pode conseguir com este processo, pois uma peça com aproximadamente 0,2 % de carbono e com determinados elementos de liga, possibilita a cementação, o que significa dureza superficial com núcleo altamente tenaz.

Nitretação e cianetação

São processos que objetivam introduzir substâncias na camada superficial do aço, visando aumento de dureza e resistência. A nitretação adiciona nitrogênio à superfície do material, e este processo não é seguido de têmpera ou revenimento, já a cianetação adiciona nitrogênio e carbono a superfície do material.

Controle de temperatura

Depois desta explanação, pode-se perceber que a variável temperatura é de suma importância nos processos de tratamento térmico, precisando ser muito bem controlada. Os processos industriais de produção fabricam milhares de peças e com a necessidade de manter um nível de qualidade determinado, geralmente os procedimentos de tratamento térmico funcionam em batelada, de maneira que, se uma malha de controle de temperatura falha, muito se perde.

Este artigo, além de trazer conhecimento desta matéria aos leigos, reforça o aprendizado daqueles que já viram alguma coisa sobre o tema, além de dar uma idéia da importância da temperatura e seu correto controle para aqueles que atuam e querem trabalhar com malhas de controle de temperatura e aplicar corretamente os sensores de temperatura como, por exemplo, os termopares.

CONCLUSÃO

Tentamos apresentar de maneira simples e bastante resumida alguns tratamentos que mais ocorrem na indústria. Para isso, não bastava simplesmente apresentar definições tais quais apresentadas em livros próprios da área. Assim, fizemos uma breve introdução sobre a estrutura cristalina do ferro e quais transformações acontecem com a variação da temperatura. Entendemos que esta seqüência facilita o aprendizado e ajuda a fixar os conceitos, por isso, apresentamos o diagrama do Fe-C, importantíssimo na área de materiais metálicos. Porém, não discorreremos de maneira abrangente, apenas focamos sobre o que tínhamos mais interesse.

Expusemos os tratamentos que são bastante conhecidos na indústria, todavia existem outros derivados destes ou combinações dos apresentados. Aqui fica uma fonte de referência, um primeiro passo, para aqueles que querem conhecer esta matéria chamada **Tratamento Térmico**. Até a próxima!

Motores elétricos

Juliano Matias





Abordaremos, neste artigo, o componente mais utilizado sem dúvida alguma em uma indústria, o Motor Elétrico.

Entenderemos seus mais variados tipos, princípios de funcionamento e suas manutenções preventivas e corretivas. Este artigo será a base para outros mais aprofundados sobre as teorias de motores e seus acionamentos.

Boa leitura!

O motor de indução é o modelo de motor mais usado na indústria. Este fato deve-se à maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica serem de corrente alternada. Comparado com o motor de corrente contínua, o motor de indução tem como vantagem a sua simplicidade, que se traduz em baixo custo e máxima eficácia com manutenção mínima. O rendimento é elevado para média e máxima carga, e pode-se assegurar um bom fator de potência com uma seleção correta.

OS MOTORES ELÉTRICOS E A SUA IMPORTÂNCIA

O acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos por motores elétricos é um assunto de extraordinária importância econômica. No campo dos acionamentos industriais, avalia-se que de 70 a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias sejam transformados em energia mecânica através de motores elétricos.

O nosso estudo torna-se mais relevante, já que a maioria dos motores elétricos utilizados na indústria consiste de motores de indução "gaiola de esquilo".

Veja na **figura 1**, um exemplar de motor elétrico industrial e na **figura 2**, tipos de motores elétricos

ESCOLHA DO MOTOR ADEQUADO

Na seleção do motor, vários fatores são determinantes. As importâncias desses fatores dependem da utilização a que o motor vai ser sujeito e das possibilidades da empresa:

• Tipo de fonte de alimentação (DC ou AC, monofásico ou polifásico).

• Condições ambientais (limitações à poluição produzida pelo motor: principalmente sonora).

• Relação Binário/Velocidade: conseqüência direta das características da carga. Observe a **figura 3**.

• Consumo e Manutenção: varia com os interesses econômicos, perspectiva a curto ou longo prazo.

• Acionamento**:** Posição, Binário, Velocidade, Corrente de Arranque; depende das exigências da carga.

Um aspecto importante na seleção do motor é o tipo de carga mecânica a que vai estar sujeito. Assim, convém referir e caracterizar os diversos tipos que são apresentados na **figura 4** acompanhada com exemplos ilustrativos.

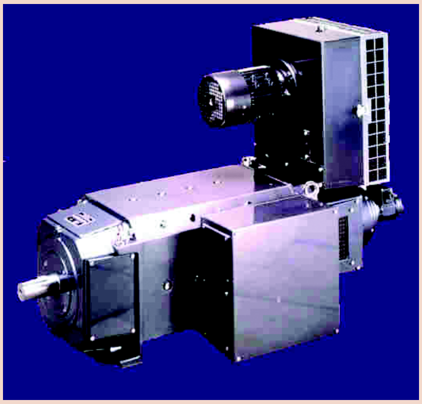


Figura 1 - Motor elétrico industrial.

CONSTITUIÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO

O motor assíncrono é constituído basicamente pelos seguintes elementos:

• um circuito magnético estático, formado por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator;

• por bobinas (nº de grupos, consoante o motor monofásico ou polifásico) localizadas em cavas abertas no estator e alimentadas pela rede de corrente alternada;

• por um rotor constituído por um núcleo ferromagnético, também laminado, sobre o qual se encontra um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator.

O rotor é apoiado num veio, que por sua vez transmite à carga a energia mecânica produzida. O entreferro (distância entre o rotor e o estator) é bastante reduzido, de forma a diminuir a corrente em vazio e, portanto as perdas, mas também para aumentar o fator de potência em vazio.

Como exemplo, apresentamos a "projeção" dos diversos elementos do motor assíncrono de rotor em gaiola de esquilo.

FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR ASSÍNCRONO

A partir do momento em que os enrolamentos localizados nas cavas do estator são sujeitos a uma corrente alternada, gera-se um campo magnético no estator, e conseqüentemente, no rotor surge uma força eletromotriz induzida devida ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor. A f.e.m. induzida dá origem a uma corrente induzida no rotor que tende a opor-se à causa que lhe deu origem, criando assim um movimento giratório no rotor.

Como podemos constatar, o princípio de funcionamento do motor de indução baseia-se em duas leis do Eletromagnetismo, a Lei de Lenz e a Lei de Faraday.

Faraday: "Sempre que através da superfície abraçada por um circuito tiver lugar uma variação de fluxo, gera-se nesse circuito uma força eletromotriz induzida. Se o circuito é fechado, será percorrido por uma corrente induzida".

Lenz: "O sentido da corrente induzida é tal que esta pelas suas ações magnéticas tende sempre a

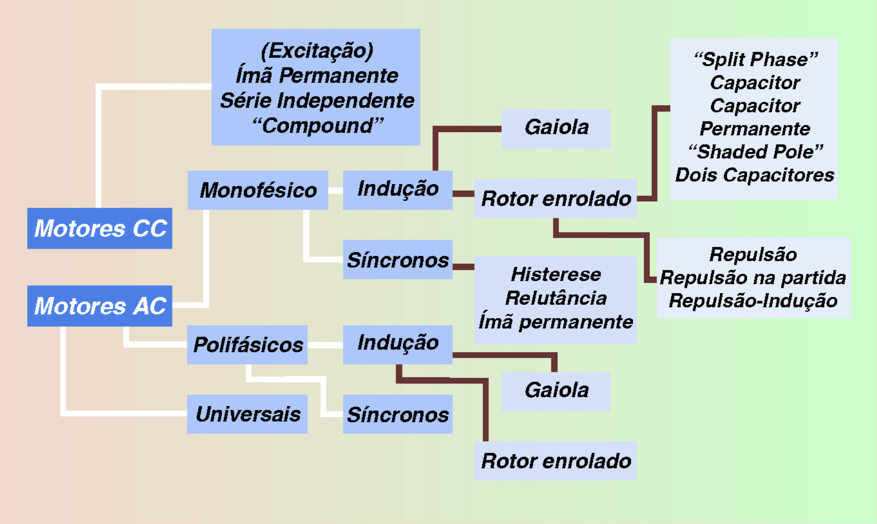


Figura 2 - Tipos de motores elétricos.

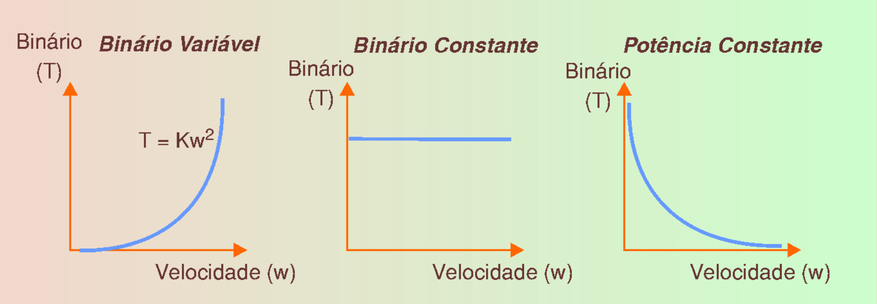


Figura 3 - Relação binário/velocidade.

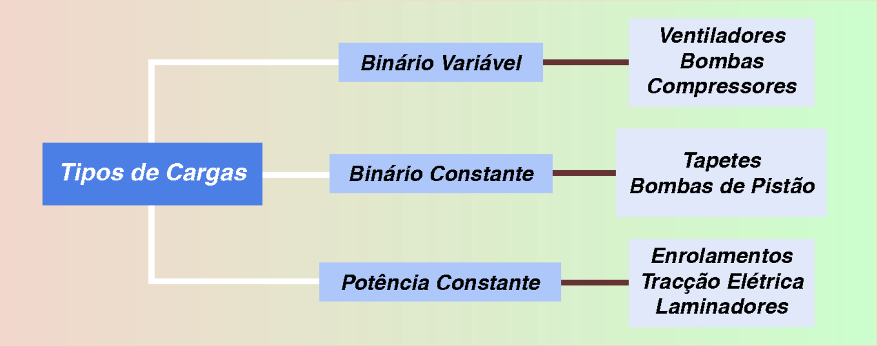


Figura 4 - Tipos de cargas mecânicas.

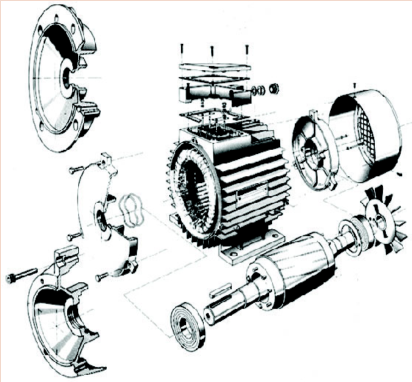


Figura 5 - Projeção dos elementos do motor de indução tipo "gaiola de esquilo".

opor-se à causa que lhe deu origem".

Explicação teórica

O motor elétrico transforma a potência elétrica fornecida em potência mecânica e uma reduzida percentagem em perdas (**figura 7**).

As perdas, que são inerentes ao processo de transformação, são quantificadas através do rendimento (mais à frente analisaremos melhor os vários tipos de perdas nos motores).

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{el}} (\%)$$

A Potência Mecânica traduz-se, basicamente, no Binário que o motor gera no veio do rotor. O Binário é conseqüência direta do efeito originado pela indução magnética do estator em interação com a do rotor.

$$\mathbf{T = K \cdot B_{est} \cdot B_{rot} \cdot sen\ a}$$

T - Binário
K - Constante
B_{est} - Indução magnética criada pelo estator
B_{rot} - Indução magnética criada pelo rotor
a - ângulo entre B_{est} e B_{rot}

A velocidade de um motor de indução é determinada essencialmente pela freqüência da energia fornecida ao motor e pelo número de pares de pólos existentes no

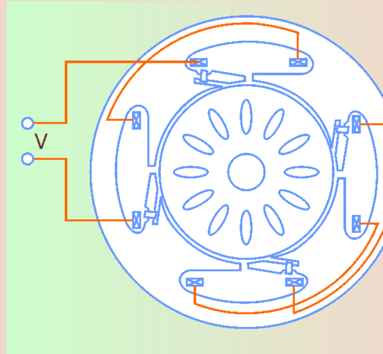


Figura 6 - Giro do rotor devido à f.e.m. induzida provocada pela tensão V do estator.

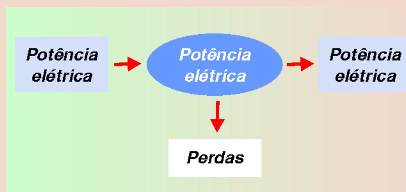


Figura 7 - Transformação da potência mecânica.

estator.

No motor assíncrono ou de indução, o campo girante roda em velocidade síncrona, como nos motores síncronos. A velocidade do campo girante obtém-se pela seguinte expressão:

$$Vg = \frac{60.f}{n} (r.p.m)$$

Vg - velocidade do campo girante
f - freqüência
n - número de pares de pólos

Uma característica fundamental dos motores de indução é o **escorregamento**, daí tratarem-se de motores assíncronos, e o seu valor é dado pela seguinte expressão:

$$s = \frac{Vg - V}{Vg}$$

s - escorregamento
V - velocidade do rotor

A velocidade sofre um ligeiro decréscimo quando o motor passa de um funcionamento em vazio (sem

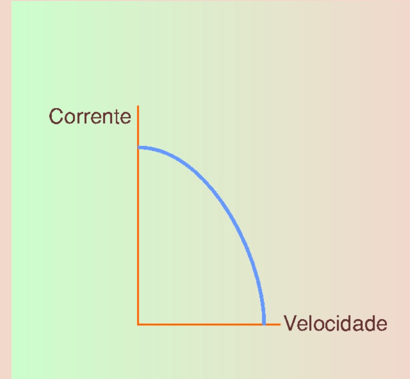


Figura 8 - Curta Corrente x Velocidade para um motor de indução.

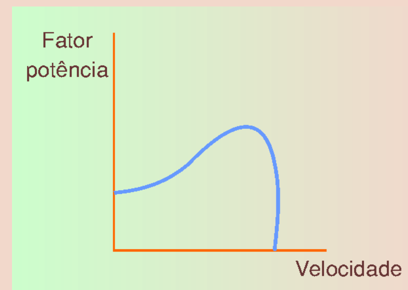


Figura 9 - Curva fator de potência x velocidade para o M. I.

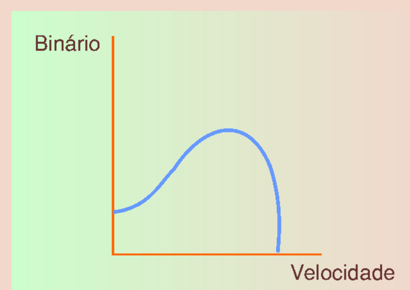


Figura 10 - Curva Binário x velocidade para o M.I.

carga) para um funcionamento em carga máxima.

CURVAS CARACTERÍSTICAS

São apresentadas as principais curvas do motor de indução, no intuito de visualizarmos o comportamento dos vários fenômenos de uma forma geral. Atente para as **figuras 8**, **9** e **10**.

APLICAÇÕES

Mostramos algumas aplicações importantes do motor assíncrono nas

figuras 11, **12** e **13**, a seguir. Atualmente, o motor assíncrono tem uma aplicação muito grande tanto na indústria quanto em utilizações domésticas, dada a sua grande robustez, o baixo preço, arranque fácil (pode mesmo ser direto em motores de baixa potência). Não possui coletor (órgão delicado e caro); tratando-se de uma gaiola de esquilo; não produz faíscas e tem, portanto, uma manutenção muito mais reduzida do que qualquer outro motor. É utilizado o motor monofásico para baixas potências (até 1 a 2 kW) e o polifásico para potências superiores.

Na **figura 14** visualiza-se a utilização de motores em casos específicos. Há que destacar que o motor de indução ideal está numa faixa de velocidade entre 900 e 1800 rpm, e com potências inferiores a alguns milhares de kW. Associados aos conversores eletrônicos de tensão e freqüência variáveis (variadores eletrônicos de velocidade), os motores de indução tendem a assumir um papel quase que exclusivo nos acionamentos elétricos.

PERDAS NO MOTOR

As perdas que ocorrem num motor dividem-se em quatro diferentes tipos:

- Perdas elétricas
- Perdas magnéticas
- Perdas mecânicas
- Perdas parasitas.

• As perdas elétricas são do tipo {RI^2}, aumentam acentuadamente com a carga aplicada ao motor. Essas perdas, por efeito Joule, podem ser reduzidas aumentando a secção do estator e dos condutores do rotor.

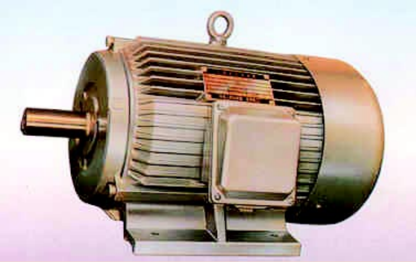


Figura 11 - Aspecto de um motor assíncrono doméstico.

• As perdas magnéticas ocorrem nas lâminas de ferro do estator e do rotor. Acontecem em razão do efeito de histerese e das correntes induzidas (neste caso, correntes de Foucault), e variam com a densidade do fluxo e a freqüência. Podem ser reduzidas através do aumento da secção do ferro no estator e rotor através do uso de lâminas delgadas e do melhoramento dos materiais magnéticos.

• As perdas mecânicas são devidas à fricção dos procedimentos, ventilação e perdas geradas pela oposição do ar. Podem ser reduzidas, usando-se procedimentos com baixa fricção e com o aperfeiçoamento do sistema de ventilação.

• As perdas parasitas (*stray losses*) ou perdas extraviadas são devidas a fugas do fluxo, distribuição de corrente não uniforme, imperfeições mecânicas nas aberturas para escoamento do ar, e irregularidades na densidade do fluxo do ar ao ser escoado pelas aberturas. Podem ser reduzidas através da otimização do projeto do motor e ainda por uma produção ou fabrico cuidadoso.

Apresentamos, na **figura 15**, a distribuição das perdas no motor; as perdas parasitas não são representadas por terem um valor insignificante.

MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS

Os motores monofásicos são assim chamados porque os seus enrolamentos de campo são ligados diretamente a uma fonte monofásica.

Os motores de indução monofásicos são a alternativa natural aos motores de indução polifásicos nos locais onde não se dispõe de alimentação trifásica, tais como residências, escritórios, oficinas e em zonas rurais. Apenas se justifica a sua utilização para baixas potências (1 a 2 kW).

Entre os vários tipos de motores elétricos monofásicos, os motores com rotor tipo gaiola destacam-se pela simplicidade de fabricação e, principalmente, pela robustez, facilidade e manutenção reduzida.

Por terem somente uma fase de alimentação, não possuem um campo girante como os motores polifásicos, mas sim um campo magnético pulsante. Isso impede que tenham binário de arranque,

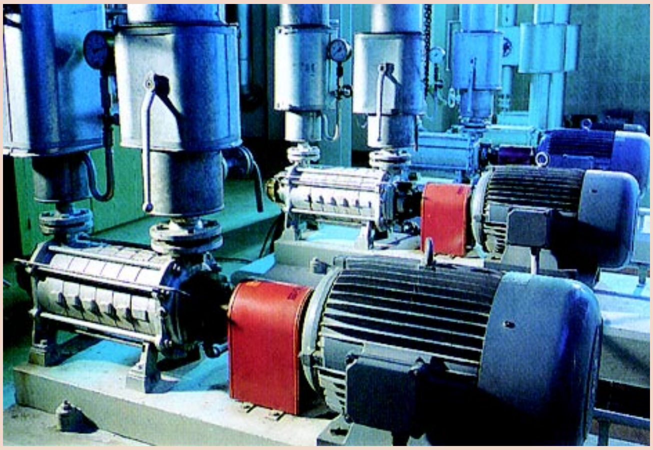


Figura 12 - Exemplo de aplicação do motor assíncrono na indústria.



Figura 13 - Aplicação do motor assíncrono na indústria alimentícia.

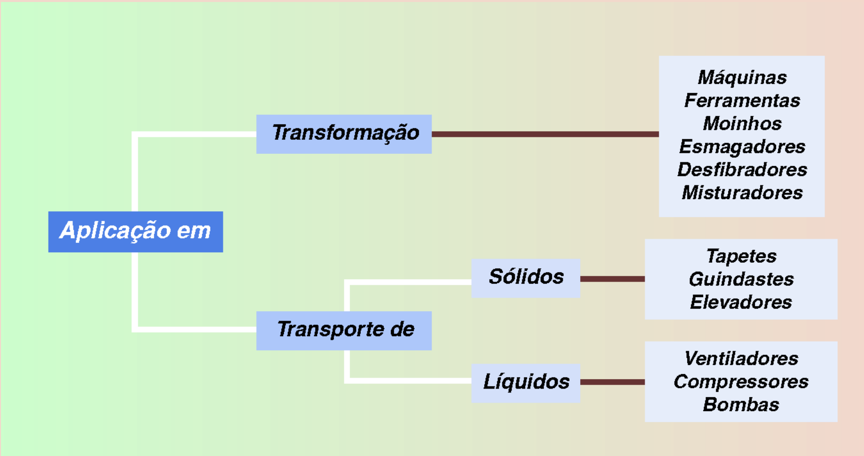


Figura 14 - Aplicações do motor assíncrono em casos específicos.

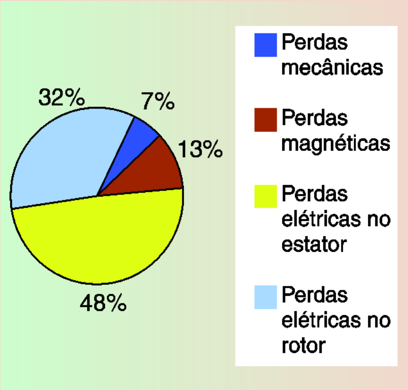


Figura 15 - Distribuição das perdas do motor.

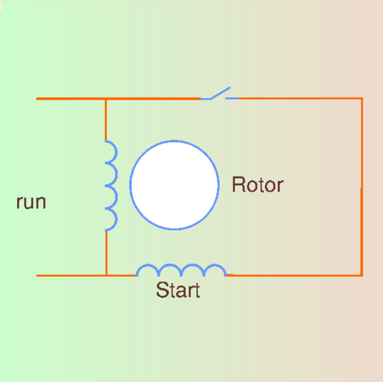


Figura 17 - Esquema de um motor de fase dividida.

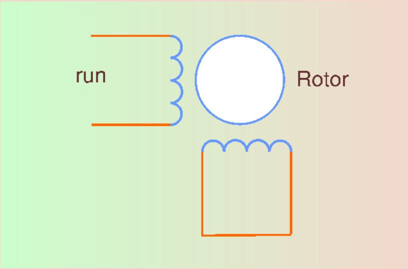


Figura 16 - Esquema de motor de pólos sombreados.

considerando-se que no rotor se induzem campos magnéticos alinhados com o campo do estator. Para solucionar o problema de arranque, utilizam-se enrolamentos auxiliares, que são dimensionados e posicionados de forma a criar uma segunda fase fictícia, permitindo a formação do campo girante necessário para o arranque.

Os tipos de Motores de indução monofásicos são os seguintes:

Motor de Pólos Sombreados (ou *shaded pole*);

Motor de Fase Dividida (ou *split phase*);

Motor de Condensador de Partida (ou *capacitor - start*);

Motor de Condensador Permanente (ou *permanent - split capacitor*);

Motor com Dois Condensadores (ou *two-value capacitor*).

Na seqüência, vamos apresentar o funcionamento, características, vantagens e aplicações dos vários tipos de motores monofásicos.

Motor de pólos sombreados

O motor de pólos sombreados, também chamado de motor de campo distorcido (ou *shaded pole*) graças ao seu processo de arranque, é o mais simples, fiável e econômico dos motores de indução monofásicos.

Construtivamente, existem diversos tipos, sendo que uma das formas mais comuns é a de pólos salientes. Cada pólo terá uma parte (em geral 25% a 35% do mesmo) abraçada por uma espira de cobre em curto-circuito.

A corrente induzida nessa espira faz com que o fluxo que a atravessa sofra um atraso em relação ao fluxo da parte não abraçada pela mesma. O resultado disso será semelhante a um campo girante que se move na direção da parte não abraçada para a parte abraçada do pólo, produzindo o binário que fará o motor partir e atingir a rotação nominal.

O sentido de rotação, portanto, depende do lado em que se situa a parte abraçada do pólo. Conseqüentemente, o motor de campo distorcido apresenta um único sentido de rotação. Este, geralmente, pode ser invertido mudando-se a posição da ponta de eixo do rotor em relação ao estator. Existem outros métodos para se obter inversão de rotação, mas muito mais dispendiosos.

Quanto ao desempenho, os motores de campo distorcido apresentam baixo binário de arranque (15% a 50% do nominal), baixo rendimento e baixo fator de potência. Devido a isso, eles são normalmente fabricados para pequenas potências, que vão de alguns milésimos de CV a 1/4 CV. Veja a **figura 16**.

Pela sua simplicidade, robustez e baixo custo, são ideais em aplicações tais como: movimentação de ar (ventiladores, exaustores, purificadores de ambiente, unidades de refrigeração, secadores de roupa e de cabelo, pequenas bombas e compressores, projetores de *slides*, gira-discos e aplicações domésticas).

Apesar de sua aparente simplicidade, o projeto deste tipo de motor é de extrema complexidade, envolvendo conceitos de duplo campo girante, campos cruzados e complexa teoria eletromagnética.

Motor de fase dividida (Split Phase)

Este motor possui um enrolamento principal e um auxiliar (para o arranque), ambos defasados de 90 graus. O enrolamento auxiliar cria um deslocamento de fase que produz o binário necessário para a rotação inicial e a aceleração. Quando o motor atinge uma rotação pré-determinada, o enrolamento auxiliar é desligado da rede através de uma chave que normalmente é acionada por uma força centrífuga (chave ou disjuntor centrífugo) ou, em casos específicos, por relé de corrente, chave manual ou outros dispositivos especiais. Como o enrolamento auxiliar é dimensionado para atuar apenas no arranque, se não for desligado logo após o arranque, será danificado. Observe a **figura 17**.

O ângulo de defasagem que se pode obter entre as correntes do enrolamento principal e do enrolamento auxiliar é pequeno. Por isso, estes motores têm binário de arranque igual ou pouco superior ao nominal, o que limita a sua aplicação a potências fracionárias e a cargas que exigem pouco binário de arranque, tais como máquinas de escritórios, ventiladores e exaustores, pequenos polidores, compressores herméticos, bombas centrífugas, etc.

Motor de condensador de partida (Capacitor-Start)

É um motor semelhante ao de fase dividida. A principal diferença reside na inclusão de um condensador eletrolítico em série com o enrolamento auxiliar de arranque. O condensador permite um maior ângulo de defasagem entre as correntes dos enrolamentos principais e auxiliar, proporcionando, assim, elevados binários de arranque. Como no motor de fase dividida, o circuito auxiliar é desligado quando o motor atinge entre 75% a 80% da velocidade síncrona. Neste intervalo de velocidades, o enrolamento principal sozinho desenvolve quase o mesmo binário que os enrolamentos combinados. Para velocidades maiores, entre 80% e 90% da velocidade síncrona, a curva do binário com os enrolamentos combinados cruza a curva de binário do enrolamento principal de maneira que para velocidades acima deste ponto, o motor desenvolve menor binário (para qualquer escorregamento) com o circuito auxiliar ligado do que sem ele.

Devido ao fato de o cruzamento das curvas não ocorrer sempre no mesmo ponto e, ainda, o disjuntor centrífugo não abrir sempre exatamente na mesma velocidade, é uma prática comum fazer com que a abertura aconteça, na média, um pouco antes do cruzamento das curvas. Após a abertura do circuito auxiliar, o seu funcionamento é idêntico ao do motor de fase dividida.

Com o seu elevado binário de arranque (entre 200% e 350% do binário nominal), o "motor de condensador de partida" pode ser utilizado numa grande variedade de aplicações, sendo fabricado para potências que vão de ¼ CV a 15 CV.

Motor de condensador permanente (Permanent - Split Capacitor)

Neste tipo de motor,vide **figura 18**, o enrolamento auxiliar e o condensador ficam permanentemente ligados, sendo o condensador do tipo eletrostático. O efeito deste condensador é o de criar condições de fluxo muito semelhantes às encontradas nos motores polifásicos, aumentando, com isso, o binário máximo, o rendimento e o fator de potência, além de reduzir sensivelmente o ruído.

Construtivamente, são menores e isentos de manutenção, pois não utilizam contatos e partes móveis como nos motores anteriores. Entretanto, o seu binário de arranque é inferior ao do motor de fase dividida (50% a 100% do conjugado nominal), o que limita sua aplicação a equipamentos que não requerem elevado binário de arranque, tais como: máquinas de escritório, ventiladores, exaustores, sopradores, bombas centrífugas, esmeris, pequenas serras, furadeiras, condicionadores de ar, pulverizadores, etc. São fabricados normalmente para potências de 1/50 a 1,5 CV.

Motor com dois condensadores (Two - Value Capacitor)

É um motor que utiliza as vantagens dos dois anteriores: arranque como o do motor de condensador de partida e funcionamento em regime idêntico ao do motor de condensador permanente. No entanto, devido ao seu alto custo, normalmente são fabricados apenas para potências superiores a 1 CV. Na **figura 19** é mostrado o esquema para este motor.

MOTORES POLIFÁSICOS

O motor de indução polifásico é o tipo mais usado, tanto na indústria

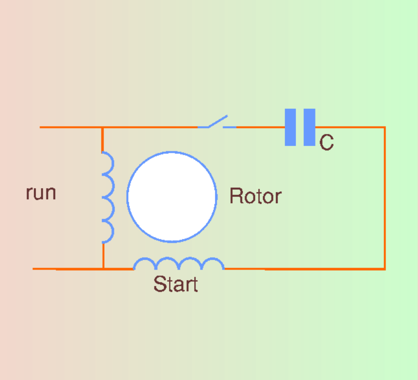


Figura 18 - Esquema para o motor de condensador permanente.

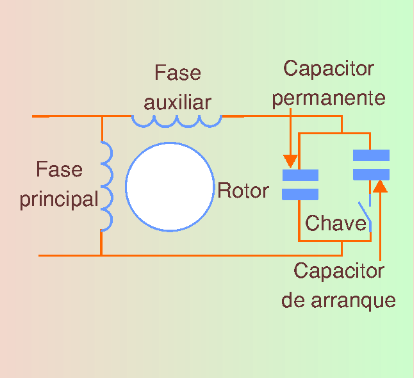


Figura 19 - Esquema para o motor com dois condensadores.

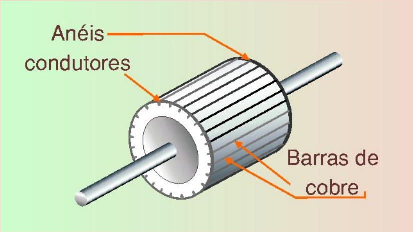


Figura 20 - Rotor de um motor tipo "gaiola de esquilo".

quanto no ambiente doméstico, devido à maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica serem trifásicos de corrente alternada. O nosso estudo recaiu essencialmente nos motores de indução trifásicos, considerando-se que na prática eles constituem o grande leque dos motores de indução polifásicos e também porque o número de fases varia o seu comportamento de uma forma já relatada, nomeadamente com a variação do número de pares de pólos que provoca alterações conhecidas.

A utilização de motores de indução trifásicos é aconselhável a partir dos 2 kW. Para potências inferiores, justifica-se o monofásico.

O motor de indução trifásico apresenta vantagens relativamente ao monofásico, nomeadamente um arranque mais fácil, o ruído é menor e são mais baratos para potências superiores a 2 kW.

Nos próximos capítulos apresentaremos o funcionamento, características, vantagens e aplicações dos tipos de motores trifásicos.

Avarias mais freqüentes no motor assíncrono

Avaria	Causas prováveis
Marcha trepidante	- carcaça mal fixada - acoplamento mal equilibrado - condutor de alimentação interrompido - corpo estranho no entreferro
O motor não gira	- interrupção da alimentação - as escovas não assentam sobre os anéis - tensão excessivamente baixa - interrupção no arrancador
Arranque brusco	- resistência demasiado baixa no arranque (rotor bobinado) - arrancador parcialmente interrompido ou com contatos queimados - arrancador mal ligado - curto-circuito entre espiras do enrolamento do rotor
O motor arranca com dificuldade	- tensão na rede muito baixa - queda de tensão excessiva nos condutores de alimentação - carga excessiva - um terminal do motor polifásico está ligado por erro ao neutro
O motor produz um zumbido no arranque	- resistências diferentes no reostato de arranque - curto-circuito entre espiras do rotor - interrupção num enrolamento do rotor
Aquecimento excessivo do motor em funcionamento	- carga excessiva - tensão demasiado elevada (perdas elevadas no ferro) - tensão demasiado baixa (consumo excessivo de corrente) - condutor de fase partido (consumo excessivo de corrente) - interrupção num dos enrolamentos do estator (consumo excessivo de corrente)

Gaiola de esquilo

Este é o motor mais utilizado na indústria atualmente. Tem a vantagem de ser mais econômico em relação aos motores monofásicos, tanto na sua construção quanto no seu emprego. Além disso, escolhendo o método de arranque ideal, possui um leque muito maior de aplicações. Por isso, vamos analisar detalhadamente este motor.

O rotor em "gaiola de esquilo" é constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores) dispostas paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que curto-circuitam os condutores (ver **figura 20**).

O estator do motor também é formado por um núcleo ferromagnético laminado, em cujas cavas são colocados os enrolamentos alimentados pela rede de corrente alternada trifásica. Observe as **figuras 21** e **22**, a seguir.

A vantagem deste rotor relativamente ao de rotor bobinado é que resulta numa construção do induzido mais rápida, mais prática e mais barata.

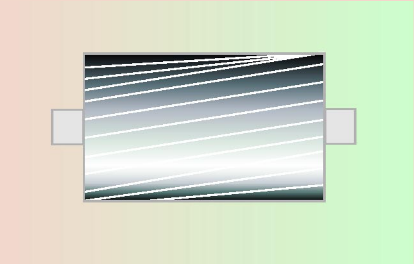


Figura 21 - Estator do motor tipo "gaiola de esquilo".

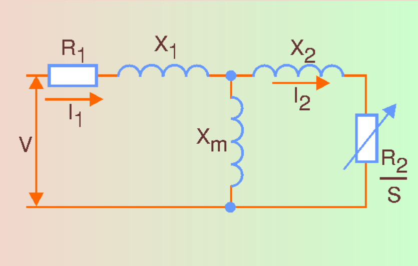


Figura 22 - Enrolamentos alimentados pela rede trifásica.

Trata-se de um motor robusto, barato, de rápida produção, não exigindo coletor (órgão sensível e caro) e de rápida ligação à rede.

Preferencialmente, as barras condutoras da gaiola são colocadas geralmente com uma certa inclinação, para evitar as trepidações e ruídos que resultam da ação eletromagnética entre os dentes das cavas do estator e do rotor.

A principal desvantagem refere-se ao fato de o binário de arranque ser reduzido em relação à corrente absorvida pelo estator.

Trata-se essencialmente de um motor de velocidade constante.

Motor de rotor bobinado

O motor de rotor bobinado difere do motor de rotor em "gaiola de esquilo" apenas no que se refere ao rotor. O rotor é constituído por um núcleo ferromagnético laminado sobre o qual são alojadas as espiras que constituem o enrolamento trifásico, geralmente dispostas em forma estrela. Os três terminais livres de cada uma das bobinas do enrolamento trifásico são ligados a três anéis coletores. Esses três anéis ligam exteriormente a um reostato de arranque formado por três resistências variáveis, ligadas também em estrela. Deste modo os enrolamentos do rotor também ficam em circuito fechado.

A função do reostato de arranque, ligada aos enrolamentos do rotor, é a de reduzir as correntes de arranque elevadas, no caso de motores de elevada potência.

À medida que o motor vai ganhando velocidade, as resistências vão sendo progressivamente retiradas do circuito até ficarem curto-circuitadas (retiradas), quando o motor passa a funcionar no seu regime nominal. Dessa forma, o motor de rotor bobinado também funciona com os elementos do rotor em curto-circuito (tal como o motor de rotor em gaiola de esquilo), quando atinge o seu regime nominal.

O motor de indução de rotor bobinado substitui o de rotor em gaiola de esquilo em potências muito elevadas devido ao abaixamento da corrente de arranque permitida pela configuração do rotor.

Apesar de ser utilizados em casos com velocidades constantes de serviço, como referimos no ultimo parágrafo, aplica-se preferencialmente quando as velocidades de serviço são variáveis.

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PRÁTICA

Uma manutenção regular (inspeção, limpeza, lubrificação, afinação) é essencial para manter as performances elevadas das partes mecânicas e para prolongar o tempo de vida da operação.

• Lubrificação

A manutenção freqüente é necessária para reduzir ao mínimo a fricção do procedimento. A energia desperdiçada devido aos procedimentos com fricção aumenta a temperatura de funcionamento do motor, diminui a sua performance e o tempo de vida do lubrificante. O lubrificante a ser aplicado deverá ser o correto, caso contrário poderá provocar perdas por fricção elevadas e um curto período de vida dos procedimentos. Adicionalmente, o excesso de massa lubrificante poderá causar a acumulação da mesma e afetar os enrolamentos do motor com resíduos, levando à sua degradação. O uso de lubrificantes sintéticos poderá conduzir a uma redução substancial nas perdas por fricção.

• Verificação periódica

A temperatura, bem como, as condições elétricas e mecânicas do motor, devem ser verificadas periodicamente, já que a eficiência mecânica dos componentes do motor afeta diretamente a eficiência de todo o sistema.

Observar o uso e a erosão dos componentes é extremamente importante, uma vez que a eficiência pode ser afetada drasticamente.

Uma boa manutenção traduz-se numa inspeção ao comportamento do motor de seis em seis meses.

• Limpeza e condições ambientais

Limpar a carcaça do motor com freqüência é necessário em indústrias onde o pó for excessivo. Esse fator é bastante importante porque a temperatura de funcionamento aumenta com o pó, provocando assim possíveis danos no motor. O mesmo acontece quando o ambiente no qual o motor opera não é o ideal.

Um aumento da temperatura conduz a um aumento de resistividade dos enrolamentos e provoca perdas maiores. Um aumento de 25 graus Celsius na temperatura do motor aumenta as perdas Joule em cerca de 10%.

CONCLUSÃO

Tivemos, neste artigo, um conceito geral dos motores elétricos, seus tipos, suas aplicações e um pouco da teoria sobre como realizar uma manutenção em um motor elétrico.

Nos próximos, veremos mais detalhadamente o funcionamento de cada um dos tipos de motores, suas formas de acionamento e suas aplicações.

Até a próxima!

Referências do robô que possibilitam o modelo da cadeia cinemática

Julio Cesar de Almeida Freitas

Muitas perguntas são feitas em relação ao funcionamento do robô: como ele, robô, entende as ordens enviadas através da interface homem-máquina (*Teach pendant*) e como é controlada a trajetória a ser desenvolvida conforme programado? Buscando uma explicação simplificada e operacional do processo de modelagem da cadeia cinemática, acredito que possa vir a ajudar os entusiastas de robótica a compreender e desenvolver programas mais conscientes e mais seguros, garantindo a integridade dos equipamentos e dos trabalhadores que desempenham funções próximas ao equipamento.

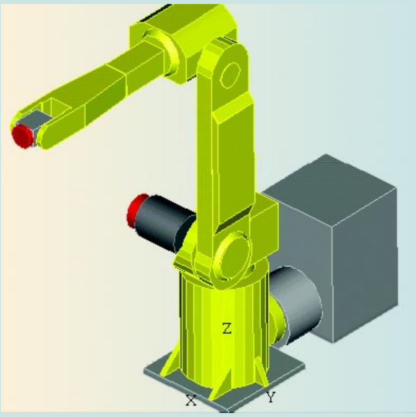


Figura 1 - Robô 6R

Para iniciarmos os nossos propósitos, devemos entender que o robô é um sistema mecânico articulado que tem como objetivo final a realização de operações pré-definidas, e isto é realizado através de uma unidade de controle que deverá especificar o que o robô deverá fazer para realizar as tarefas especificadas. O robô é constituído de elementos (*link's*) e juntas que, unidos, descrevem um par cinemático, e cada par cinemático define um grau de liberdade podendo ser de translação ou de giro, e a somatória desses pares cinemáticos forma uma cadeia cinemática.

Tomemos como exemplo um robô articulado vertical com 6 graus de liberdade, chamado de 6R devido às suas seis articulações de rotação, conforme a **figura 1**.

À primeira vista, parece ser dificultosa a identificação das articulações de rotação, porém, com o auxílio de uma representação da cadeia cinemática em perspectiva é

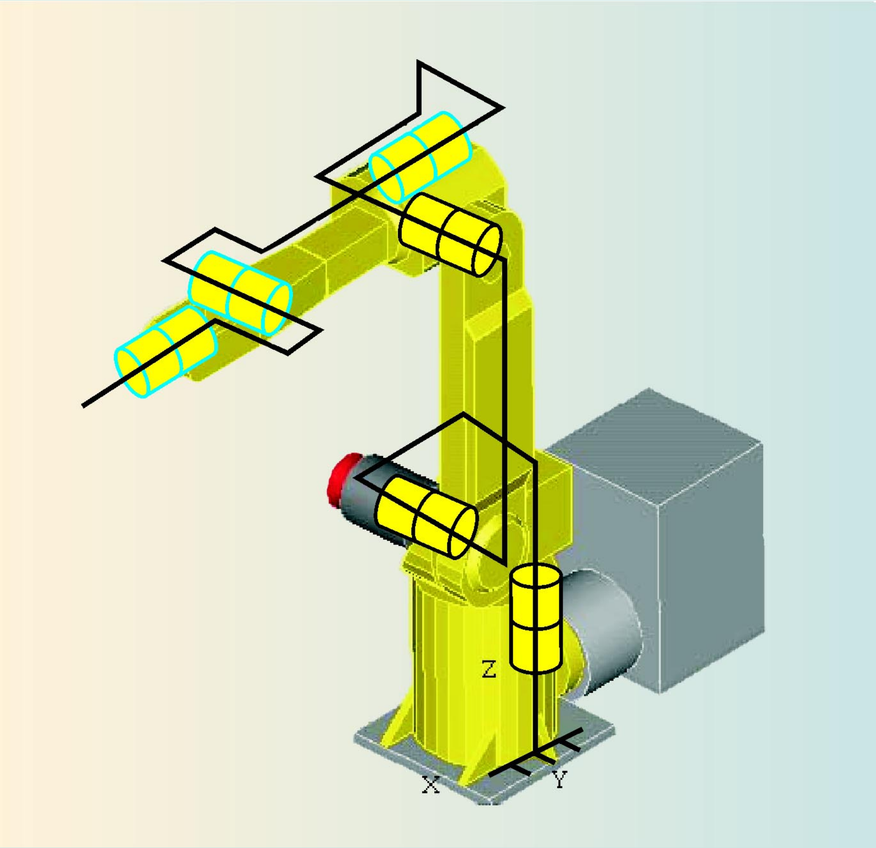


Figura 2 - Representação da cadeia cinemática em perspectiva sobre o robô.

possível compreender melhor as articulações do robô 6R; veja a **figura 2**.

Cada articulação de giro, ou rotação, representa um grau de liberdade. Os três primeiros pares cinemáticos representam a possibilidade de alcance e os três seguintes representam a possibilidade de orientação. Conclui-se, assim, que um objeto no espaço pode ser alcançado e orientado por seis graus de liberdade.

Para facilitar o nosso trabalho, iremos trabalhar com a representação gráfica do robô através da representação da cadeia cinemática; observe a **figura 3**.

Cada junta de rotação é controlada pela unidade de controle de maneira individual, e no ultimo "link" prende-se a ferramenta de trabalho do robô. É quando se obtém o controle em sincronia de todas as juntas, com suavidade e precisão de movimento da ferramenta do processo como, por exemplo, uma tocha de solda.

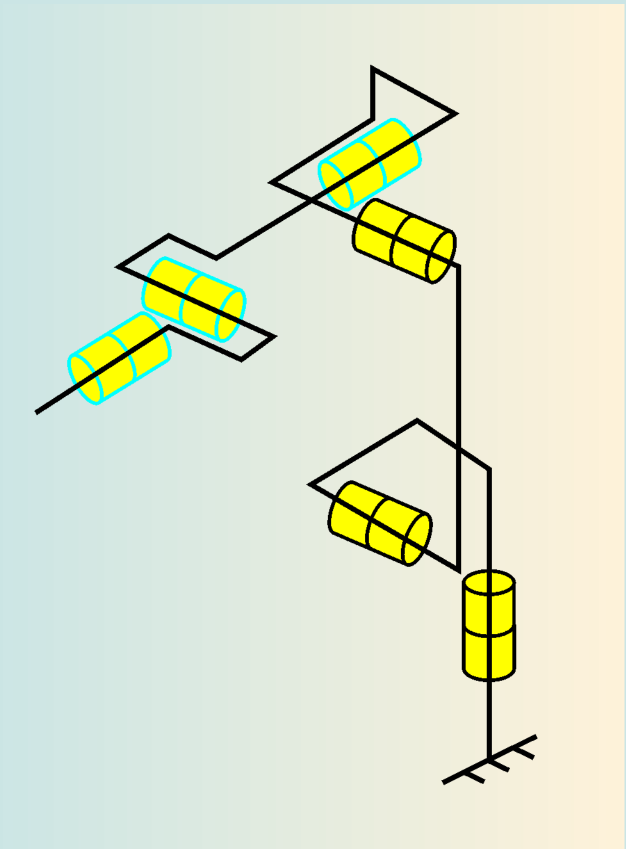


Figura 3 - Representação da cadeia cinemática.

Para se conseguir controlar cada junta de rotação é preciso criar uma referência básica, e a partir dela levar às posições e orientações para cada uma das juntas (processo conhecido como matrizes de passagem homogêneas) até a ferramenta do processo, onde se tem a orientação final que é objetivo final do processo.

Neste caso, existem algumas ferramentas que possibilitam essas colocações de referências sendo a mais utilizada a convenção de "Denavit - Hatemberg", conhecida como "D-H". Denavit e Hatemberg desenvolveram um largo e complexo estudo em cinemática [1], em especial da "linkagem" em estruturas, máquinas e equipamentos. A partir desses estudos, em meados da década de 60, aplicou-se a "convenção D-H" para descrever modelos geométricos, modelos cinemáticos e modelos dinâmicos dos robôs. É preciso estabelecer notações em relação a vetores e planos para, em seqüência, introduzir as transformações homogêneas.

Primeiramente, vamos demonstrar como a "convenção D-H" é trabalhada na mudança das referências (através da representação a quatro parâmetros) na **figura 4**.

Representação a quatro Parâmetros

Os Parâmetros de D-H são definidos da seguinte maneira:

- " $\mathbf{a_i}$ " é o comprimento da perpendicularidade comum aos eixos das ligações L_i e L_i+1, $\mathbf{a_i}$ é sempre positivo ou nulo.
- " $\mathbf{r_i}$ " é a distância algébrica, segundo o eixo Z_i, da origem O_i até a projeção no eixo Z_i da origem Oi+1.
- " α_i " é o ângulo medido algebricamente em torno do vetor X_i+1, entre os vetores Z_i e Z_i+1, projetados num plano perpendicular a X_i+1.
- " $\boldsymbol{\lambda_i}$ " é o ângulo , medido algebricamente em torno de Z_i, entre X_i e X_i+1, projetados num plano perpendicular Z_i.

Em algumas literaturas, as indicações de "$\mathbf{r_i}$" são feitas como "$\mathbf{d_i}$", e a indicação "λ_i" (lambda), é feitas como "θ_i" (teta). Uma simples questão de identificação. Esses parâmetros nos possibilitam mudar a referência de uma junta a outra a partir da referência na base geométrica do robô.

Além dos quatros parâmetros, utilizaremos algumas regras, tais como:

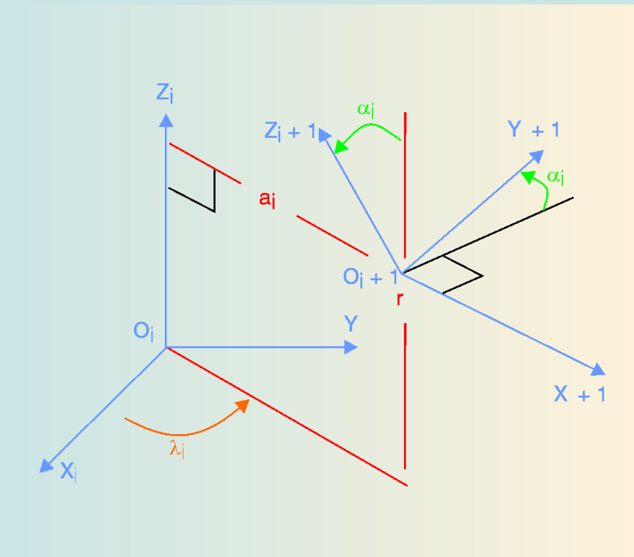


Figura 4 - Representação a quatro parâmetros.

- o eixo "z", da nova referência, deve ser colocado na direção da linha de centro da junta rotacional;

- o eixo "x" perpendicular ao eixo "z", e sempre que possível no sentido da cadeia cinemática.

Iniciemos uma exemplificação da colocação e mudança das referências, conforme mostram as **figuras de 5 a 10**.

A **primeira referência** é colocada próxima a primeira junta, observando as orientações de D-H. Com auxílio da mão direita, indicamos o dedo polegar na mesma direção e sentido do eixo z, os outros dedos "curvados" representam o sentido de giro (θ_1). A distância para a próxima referência (em relação ao eixo z) da referência na base geométrica do robô, é representada por $\mathbf{r_1}$. Atente para a **figura 5**.

A **segunda referência** é alocada tendo a orientação do eixo z , na linha de centro da junta de rotação, com o sentido ajustado segundo a orientação de D-H. Foi necessário utilizar a regra que orienta o eixo x no sentido da cadeia cinemática. Não podemos esquecer que a regra da mão direita aplicada neste caso nos permite saber o sentido de giro (θ_2), e a distância para próxima referência é também em relação ao eixo z, representado por $\mathbf{r_2}$. Conforme a **figura 6**.

A **terceira referência** também é alocada tendo a orientação do eixo z , na linha de centro da junta de rotação, com o sentido ajustado segundo a orientação de D-H. Utilizar sempre a regra que orienta o eixo x no sentido da cadeia cinemática. Não podemos esquecer que a regra da mão direita aplicada neste caso nos permite saber o sentido de giro (θ_3), e a distância para próxima referência é em relação ao eixo x, representado por $\mathbf{a_3}$. Veja a **figura 7**.

Os três graus de liberdade, representados até aqui, possibilitam o alcance em qualquer ponto do envoltório de trabalho do robô.

A **quarta referência** segue a alocação tendo a orientação do eixo z , na linha de centro da junta de rotação, com o sentido ajustado segundo a orientação de D-H. Observe que houve a necessidade de realizar a rotação do eixo z da referência 3, conforme a convenção dos quatro parâmetros de D-H orientando a referência segundo o ilustrado. O sentido da cadeia cinemática, nesta situação, foi direcionado para cima. Não podemos esquecer que a regra da mão direita aplicada neste caso nos permite saber o sentido de giro (θ_4), e a distância para próxima referência, aqui é em relação ao eixo x, representado por $\mathbf{a_4}$. Observe a **figura 8**.

A **quinta referência** também segue a alocação tendo a orientação do eixo z , na linha de centro da junta de rotação, com o sentido ajustado segundo a orientação de D-H, orientando a referência conforme o ilus-

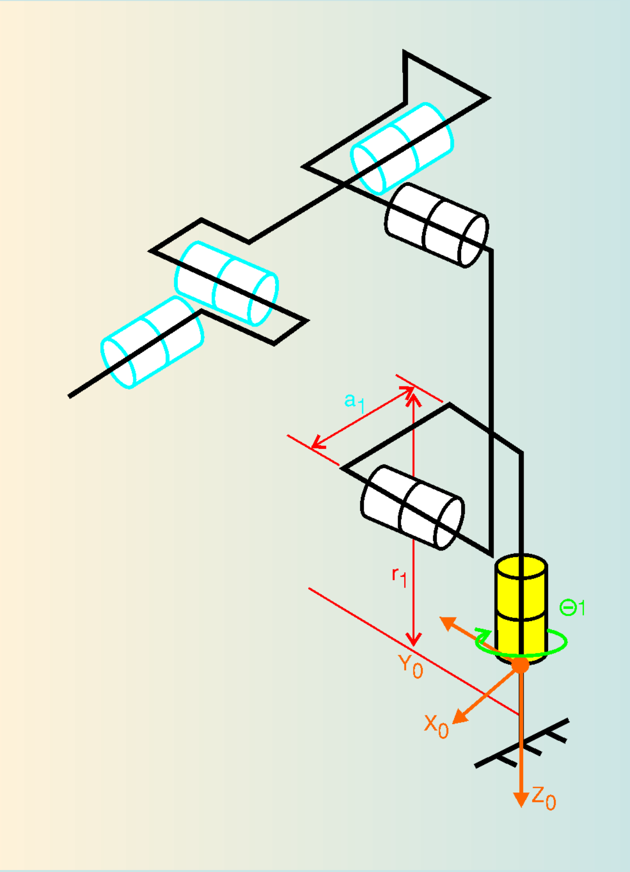


Figura 5 - Primeira referência.

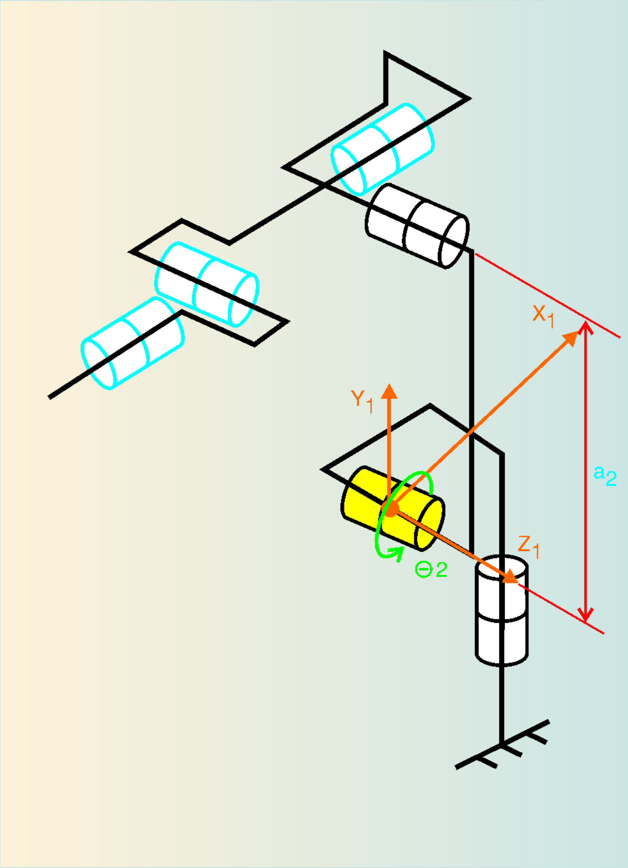


Figura 6 - Segunda referência.

trado. O sentido da cadeia cinemática permaneceu o mesmo. Não podemos esquecer que a regra da mão direita aplicada neste caso nos permite saber o sentido de giro (θ_5), e a distância para próxima referência é em relação ao eixo x, representado por $\mathbf{a_5}$. Acompanhe a **figura 9**.

A **sexta e última referência** também segue a alocação tendo a orientação do eixo z , na linha de centro da junta de rotação, com o sentido ajustado segundo a orientação de D-H. Observe que houve a necessidade de realizar a rotação em relação ao eixo x, conforme a convenção dos quatro parâmetros de D-H orientando a referência conforme o ilustrado. O sentido da cadeia cinemática permaneceu o mesmo. Não podemos esquecer que a regra da mão direita aplicada neste caso nos permite saber o sentido de giro (θ_6), e a distância para próxima referência é em relação ao eixo x, representado por $\mathbf{a_5}$. Atente para a **figura 10**.

Os três graus de liberdade finais representam a possibilidade de orientação do robô em qualquer ponto do espaço.

Com as referências alocadas em cada junta podemos descrever matematicamente a sua referência em relação à base geométrica do robô, isto é uma dependência relativa, e cada fabricante pode definir a sua referência onde achar mais conveniente e utilizar processos de localização de referência diferente da “convenção D-H”. Com essas referências alocadas podemos descrever a cinemática direta e a cinemática inversa do robô, que exercerá controle sobre o movimento simultâneo de todas as juntas do braço do equipamento.

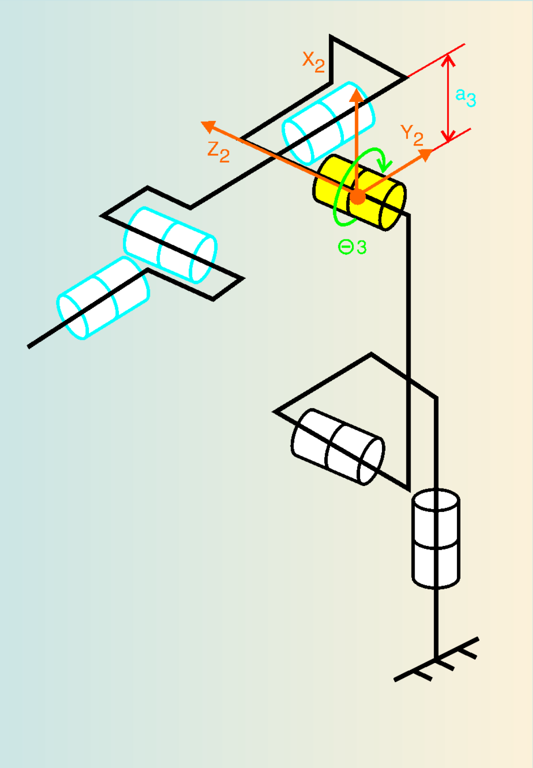


Figura 8 - Quarta referência.

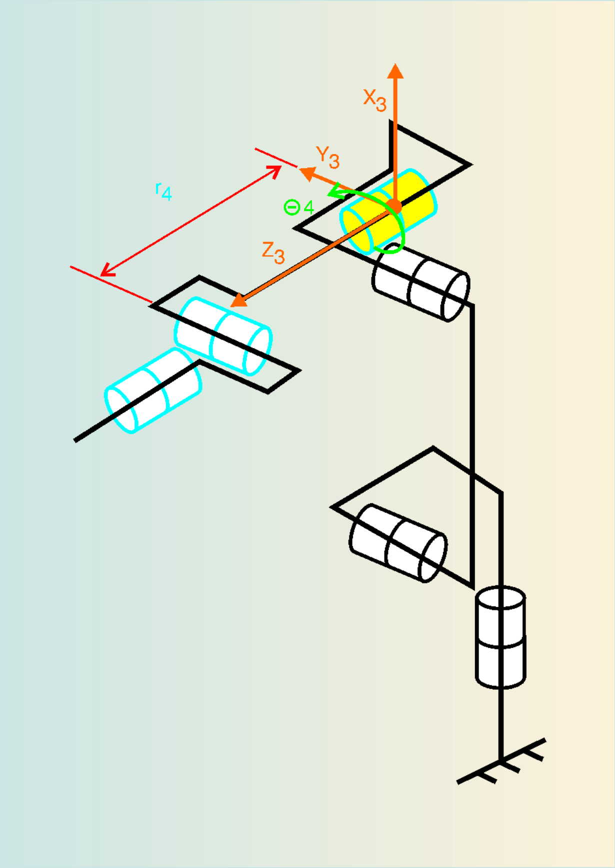


Figura 7 - Terceira referência.

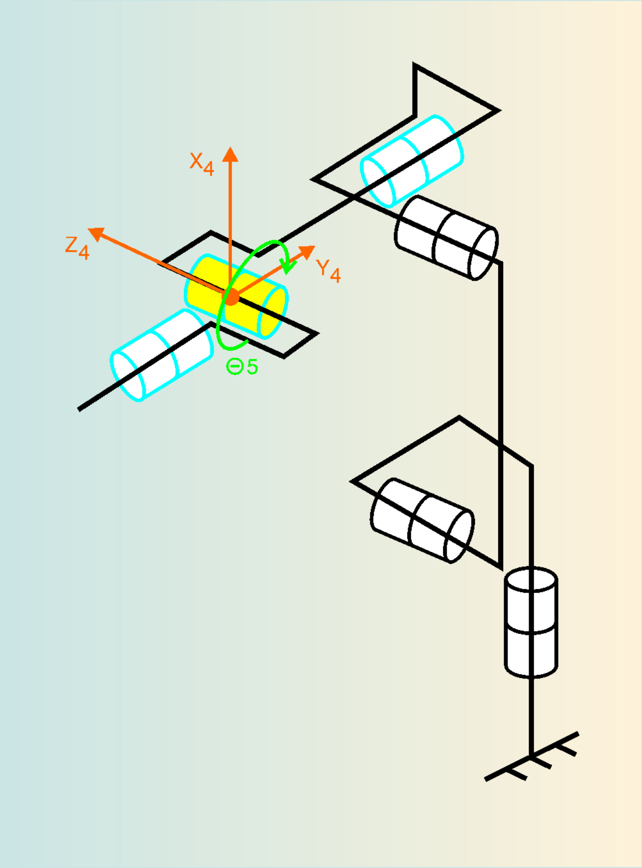


Figura 9 - Quinta referência.

A representação da situação de um Robô é caracterizada pela posição e orientação de seu órgão terminal, ou melhor, pelo referencial associado a este, $\mathbf{R}_{n+1}$, isto em relação ao referencial da base do robô, $\mathbf{R}_n$.

Além dos parâmetros de posição e parâmetros de orientação para o órgão terminal, é interessante comentar os parâmetros em função de diversas possibilidades, dentre elas as denominadas de ângulos de Euler; ângulos de Bryant; parâmetros R,P,Y (Roll, Pitch, Yaw); parâmetros de rotação finita; cossenos diretores. Veja a **figura 11**.

CONCLUSÃO

Podemos resumir que o processo de posicionamento e orientação de cada "linkagem" das referências (em cada junta do robô) pode até significar um excesso de cálculo, quando se realiza a matriz de passagens entre as referências. A experiência é fator fundamental na determinação da melhor orientação seguindo, ou não, as representações da convenção de D-H, ou outras assemelhadas, como por exemplo Craig-Khalil (Craig-1985) e (Khalil – 1986).

É possível utilizar qualquer tipo dos parâmetros citados para se poder obter a representação da posição final do robô.

Desenvolvendo o entendimento da *linkagem* e referência do robô, é possível compreender o princípio da cinemática direta e inversa do modelo cinemático aplicado ao robô. A matemática utilizada para aplicação ao processo pode ser resumida em geometria analítica com a utilização de matrizes, determinantes e trigonometria.

Para se ter controle do posicionamento do equipamento, é necessário utilizar algoritmos matemáticos para representar seu deslocamento. É claro que devemos levar em consideração os modelos geométricos, cinemáticos (direto e inverso) e também modelos dinâmicos do equipamento. Este último necessita de uma matemática mais apurada através de ferramentas mais elaboradas que requerem aplicação e envolvimento com maiores complexidades.

Bibliografia

- Ferreira, Edson de Paula - **Robótica Básica**, versão preliminar publicada para a V escola Brasileiro-Argentina de Informática, Rio de Janeiro – Janeiro de 1991;

- Craig, J.J., **Introdution to Robotics – Mechanics and Control**. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1986;

- Paul, Richard P. - **Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control- the computer Control of Robot Manipulators**- The MIT press Cambridge, Massachusetts –1986;

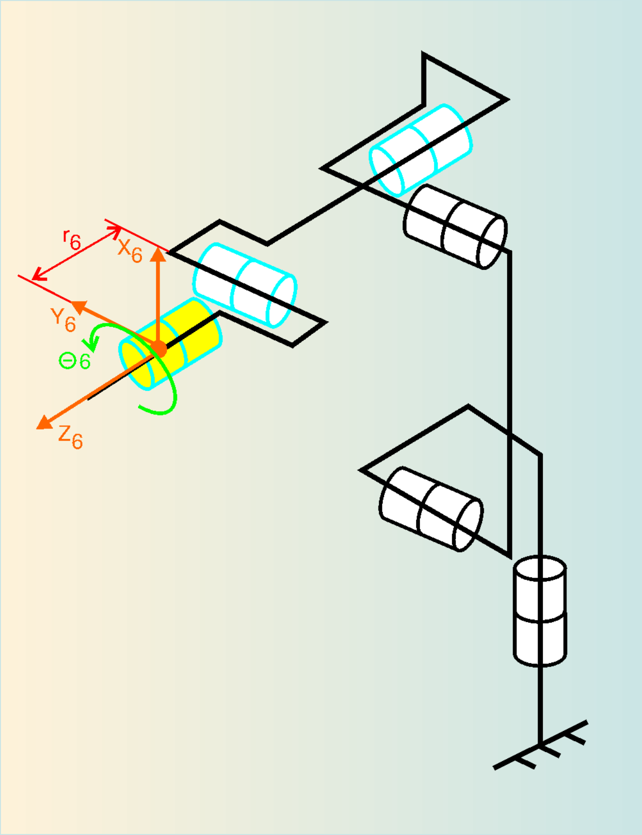


Figura 10 - Sexta referência.

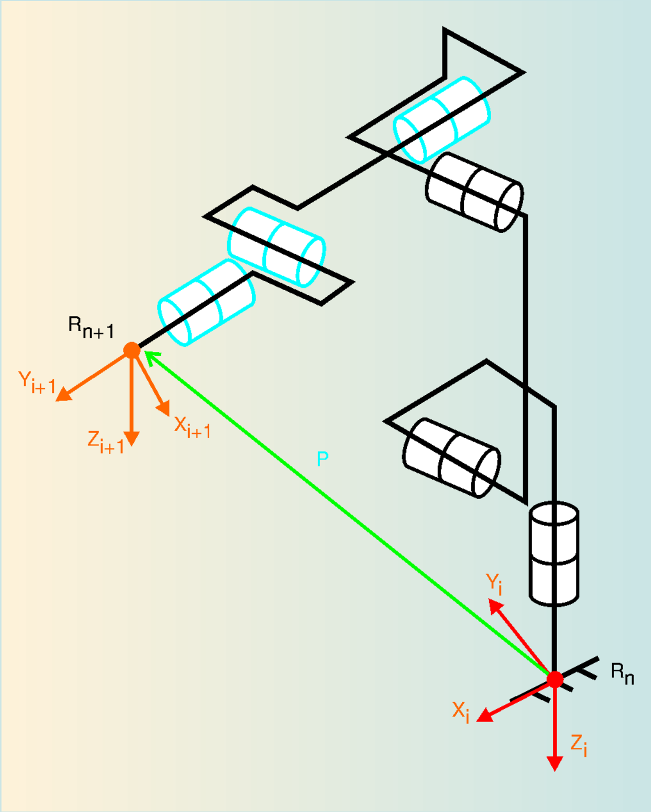


Figura 11 - Representação da posição e orientação do órgão terminal do robô.

Retrofitting CNC corrigindo a geometria da máquina

Paulo Eduardo Pansiera

Os recursos vistos até o último artigo perfazem um conjunto de funções do CNC que justifica seu emprego em contrapartida de um sistema mais simples (e mais barato) de automação para máquinas e processos.

Em linhas gerais vimos os recursos de parametrização de eixos e de transformações geométricas. Essa última é muito útil para quando a edição do programa exige do programador que ele (com sua calculadora científica) calcule seno de ângulos, desenvolvimento de circunferências em retas, e transformações de matrizes.

A primeira, aplicada a máquinas angulares – função TRAANG. A segunda, para operações de fresamento de eixos e usinagem de faces de eixo em torno – funções TRACYL e TRANSMIT. E a terceira para interpolações de 5 eixos simultâneos – função TRAORI.

Esses recursos são úteis para o programador, mas não tanto para você que vai executar o *retrofitting*.

De alguma forma, a mecânica da máquina também pode ser ajustada pelo CNC. Não na prática, pois se tivermos, por exemplo, guias que estão com erro de perpendicularismo após a montagem, não conseguiremos alinhá-las mecanicamente via CNC.

O recurso que existe é o do "alinhamento eletrônico" de forma que, ao final, a máquina vai enxergar que as guias estão retas e vai trabalhar assim, só que, na verdade, verificando com o indicador milesimal se elas apresentam erro de perpendicularismo.

Esse é apenas um dos recursos possíveis em um CNC. Estes e outros "trunfos" que a eletrônica digital trouxe para a automação de máquinas, serão o tema deste artigo.

Guarde bem as informações que aqui estarão descritas, pois em 100% dos casos você vai utilizar-se de pelo menos um destes recursos.

A MÁQUINA NÃO É RÍGIDA

Para seu azar a máquina não é rígida o suficiente. Nunca é. Você trabalha dentro de uma tolerância e aí atinge o valor desejado. Dessa busca incessante pelo menor desvio, o homem criou a tolerância dimensional.

A indústria enxerga a tolerância com aversão. Quanto maiores forem as tolerâncias, é porque é maior o desvio de seu processo. Um processo com muitos desvios tende a ser oneroso.

Fuja de desenvolver e entregar um *retrofitting* que produzirá ao final peças com desvios dimensionais que são simplesmente "aceitáveis" pelo cliente final. Aquilo que é "aceitável" nem sempre foi a semente para novos negócios.

Já um cliente impressionado com a revolução que você causou, este sim lhe servirá como indicador de novos negócios. Nunca se esqueça que você compete com a máquina nova e esta detém o supra-sumo da tecnologia contemporânea.

Elementos mecânicos que produziam folga no passado foram substituídos hoje por elementos de melhor precisão, com um custo às vezes até menor que antes. Materiais estruturais como o ferro fundido estão sendo substituídos por compostos sintéticos de boa usinabilidade e estabilidade estrutural e térmica.

Como a intenção do *retrofitting* não é a de substituir a estrutura mecânica da máquina e sim de reciclá-la, você não pode se beneficiar tanto dos novos materiais. Assim, busque um CNC que compense estas características para que no final sua máquina *retrofitada* seja tão precisa ou melhor que a máquina nova.

Os conceitos de correção geométrica abordados aqui serão: correção de passo de fuso, correção de queda de cabeçote pelo peso, correção cruzada de carros (correção de perpendicularismo), correção térmica por dilatação de eixo e correção de interpolação nas inversões por quadrante.

O objetivo é que ao final o leitor se conscientize de que também aspectos de correção geométrica podem ser configurados através do CNC, tanto no momento da entrega da máquina quanto seis meses, um ano ou dois após períodos em que a máquina geralmente começa a apresentar folga mecânica.

Entenda que estes recursos não são a solução para qualquer deficiência mecânica, e sim um ganho para quem já possui o CNC. Eles são sim diferenciadores de um CNC para outro, mas nunca uma exigência.

Ao escolher seu CNC, veja também que corretores você está levando em seu pacote.

CORREÇÃO DO ERRO DE PASSO DE FUSO

Excluindo o novíssimo conceito de motores lineares, qualquer outra máquina e digo que, sem exceção, todas as máquinas que você for *retrofitar* no Brasil, possuem hoje um conjunto de acionamento de carros e mesas, movido através de uma porca e fuso de esferas.

Para haver movimento, alguma folga entre a porca e o fuso precisa existir. Esta folga é reduzida quando se emprega o conceito de porca dupla: se existia alguma folga num sentido, na reversão a outra porca também oferece resistência.

Com o uso da porca dupla, praticamente a folga prática crítica deixou de ser problema. O que não conseguimos evitar é o erro de passo de fuso. Veja a **figura 1**.

Todo fuso de esferas é fabricado de acordo com uma classe de precisão de posicionamento. Um padrão muito usado é o do desvio máximo dentro de 300 mm de curso. Dizemos que um fuso é classe 5 quando seu maior desvio fica em 5 mícrons por 300 mm de curso. Temos fusos de classes mais apertadas como 3 ou mais folgadas como 10 e 20. A diferença está no processo de fabricação.

Após esta breve explicação sobre a tecnologia de fusos de esfera, o leitor pode não ter percebido ainda o problema potencial. Veja o seguinte exemplo:

Um carro é movido através de fuso de esfera e porca dupla. Como já mencionei antes, a folga é tão pequena que não influencia o processo. Assim, assuma que o rendimento da transmissão é de 100%.

Se temos um fuso de passo 10 mm e um comprimento de rosca de digamos 500 mm, e deslocamos este carro ao longo de um padrão graduado, ao girar um número de, por exemplo, 10 voltas exatas do fuso, espera-se um deslocamento exato de 100 mm.

Contudo, devido ao erro de passo do fuso, o que se encontra é algo como 100,005 mm ou 99,998 mm. Isso é um erro de posicionamento

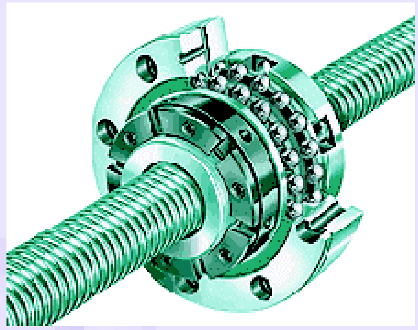


Figura 1 - Conjunto de acionamento com porca dupla e fuso de esferas.

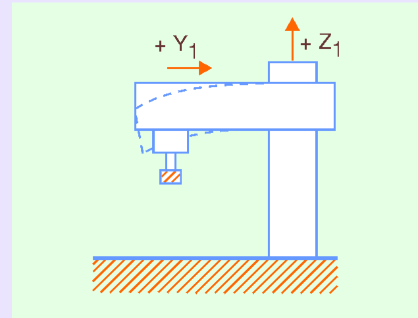


Figura 2 - Ilustração de flecha negativa em fresadora.

Y \ X	0	500	1000	1500	2000
900	0,005	0,006	0,005	0,004	0,004
600	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004
300	0,002	0,002	0,0	0,002	0,001
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 1 - Pontos de controle para compensação.

direto devido ao próprio erro de passo do fuso. Esse erro será tanto menor se o filete de rosca for retificado em sua fabricação.

Isso é caro, então, muitos fusos são apenas laminados.

Se o CNC da máquina não tem o recurso de correção de passo de fuso, então eu digo que tudo que poderia ser feito para melhorar a fidelidade de coordenadas já está feito. Para o exemplo mostrado, para uma saída elegante, você checa o erro em alguns pontos ao longo do curso total, e declara que a tolerância de posicionamento é duas vezes o erro máximo encontrado.

No exemplo dado, você pode dizer que a tolerância de posicionamento é de 0,02 mm. Tal valor atende algumas tecnologias de máquina, mas não outras.

O CNC, oferecendo um recurso de correção de erro de passo de fuso, salva esta situação de um final infeliz.

Existe uma janela de parametrização, onde você escolhe o número de pontos de controle ao longo de toda a trajetória do deslocamento do carro. Um valor usual é o de 100 pontos por metro.

Para cada ponto de controle, existe um valor de erro que você obtém fazendo a medição contra um padrão ou escala a *laser*.

Ao se definir uma tabela de 100 pontos, por exemplo, o CNC cria uma tela de inserção de valores de erro, conhecida como tela de valores de erro de passo de fuso, e você manualmente insere o erro, com sinal positivo ou negativo, correspondente a cada ponto de controle.

Pronto! Isso feito, o CNC passa a se deslocar de forma que sobre os pontos de controle o desvio é nulo e entre eles existe uma correlação linear.

Uma observação: os pontos de controle não precisam ser eqüidistantes; em regiões onde a criticidade de posicionamento é maior, mais pontos de controle podem ser alocados. O que não dá para alterar é o número máximo de pontos de controle, pois existe um limite no algoritmo do *firmware* de cada CNC.

CORREÇÃO DE QUEDA DE CABEÇOTE POR PESO

Este conceito é bem simples de ser absorvido. Imagine uma máquina tipo fresadora que tem um cabeçote que avança muito à frente para usinar. A ferramenta, motorização e todo o peso estão distantes do apoio das guias, então é natural haver uma flecha negativa.

Isso é o mesmo que você segurar uma vara de pesca. Quando o peixe puxa, a vara enverga. Na máquina, a mesma coisa acontece: o esforço de corte reage flexionando o cabeçote para cima. Observe a **figura 2**.

Se o cabeçote é pesado de forma que o momento fletor supera a inércia tranversal, então haverá uma flecha na ponta para baixo.

Aqui a solução para o problema é a mesma que para a correção do erro de passo de fuso: uma **tabela** (1) com pontos de controle para compensação de um grau de liberdade em relação a outro, de acordo com a distância até o engaste.

Essa compensação é sempre de um eixo em relação a um ou (mais de um) outros eixos.

A figura aqui mostra de maneira exagerada como se pode compensar um valor de cota Z em referência a cada coordenada X e Y da mesa.

Neste exemplo, a máquina em questão é uma fresadora vertical de banco fixo.

Perceba que a queda é tão menor quanto mais próximo o cabeçote estiver de X.

Se você se valer deste recurso de CNC, então terá que corrigir seu programa, gerando esta compensação na medida em que a ferramenta se afasta da base do engaste.

A **figura 3** mostra uma outro problema decorrente do peso. Aqui temos uma mandrilhadora que está sobre uma fundação que cedeu. Como a coluna não é solidária à mesa, perdemos o perpendicularismo e portanto a correlação das coordenadas da ferramenta para a peça.

O CNC está enxergando os valores medidos dos eixos X e Z, no entanto, a condição real é de outro X e Z em relação à mesa. Conhecendo-se o ΔX1, o CNC calcula o ângulo β e deduz a cota real de Z em relação à mesa.

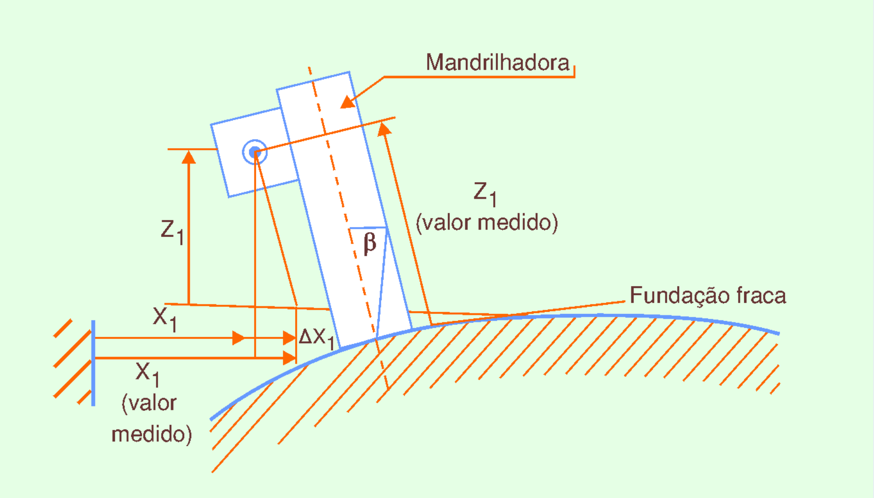


Figura 3 - Mandrilhadora sobre fundação que cedeu.

De antemão, o usuário pode completar uma tabela de desvios X em relação a Z e o CNC passa a enxergar e a assumir a responsabilidade da tarefa.

COMPENSAÇÃO CRUZADA

Eu prefiro chamar este recurso de "desentortador eletrônico de máquina". Parece cômico, mas é um recurso sensacional. Quando você esgota todos os artifícios mecânicos para assegurar a geometria da máquina, entra agora o ganho com a aquisição de um CNC moderno.

Cross compensation, *multi-dimensional compensation*, alguns são os nomes deste recurso, que aparecem nas literaturas por aí. Eu prefiro o da compensação cruzada e a idéia em mente de que ele corrige o perpendicularismo de um par de eixos.

Vou repetir o exemplo da fresadora: na condição de verificação geométrica a máquina mostrou o desvio de acordo com o que está na **tabela 2** acima.

Se este for o caso, não basta alinhar os eixos, pois a tendência não se repete ao longo de Y. O caso foi de se deslocar X de 0 a 2000 mm e montar um indicador em Y, em três cotas diferentes.

Se tivéssemos uma tendência, o melhor caminho seria o do alinhamento do par de eixos, mas olhando o exemplo vemos que não é. Parece mais uma estrutura torcida.

Para se "desentortar" a máquina, o que se faz é entrar na tela de correção do CNC (quando disponível), parametrizar a tabela indicando o número de pontos de controle do deslocamento (erro) para cada um. É necessário também explicitar qual eixo é o Mestre e qual é, então, o Escravo.

Seguindo modelos de outras arquiteturas, apenas um mestre é permitido, mas vários escravos. Atente para que novos *firmwares* já estão prevendo a possibilidade de um número maior de Mestres e até de inversão temporária do papel de Mestre para Escravo.

Não é minha intenção entrar em tanta abstração agora. Fique apenas com o conceito útil de que a máquina pode ser "desentortada" e use mais esta carta se perceber que a situação vai ficar difícil.

CORREÇÃO TÉRMICA

No início deste artigo comentei uma inovação de processos ligada a obtenção das partes estruturais da máquina. Até o presente, a maioria das partes estruturais eram e ainda são fabricadas de ferro fundido ou estrutura de chapa de aço soldada.

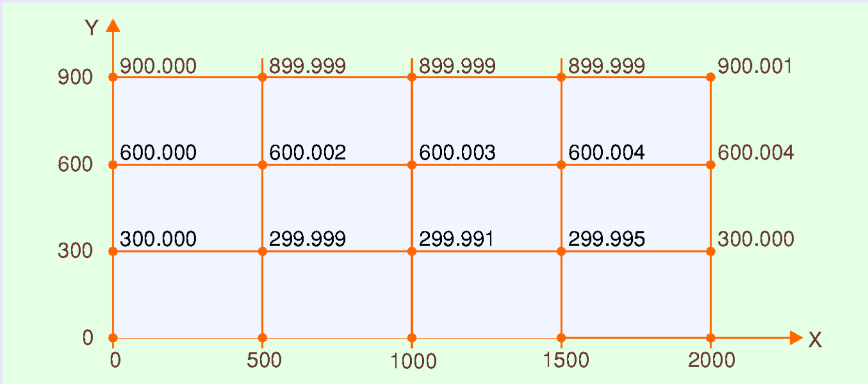


Tabela 2 - Desvio apresentado pela fresadora..

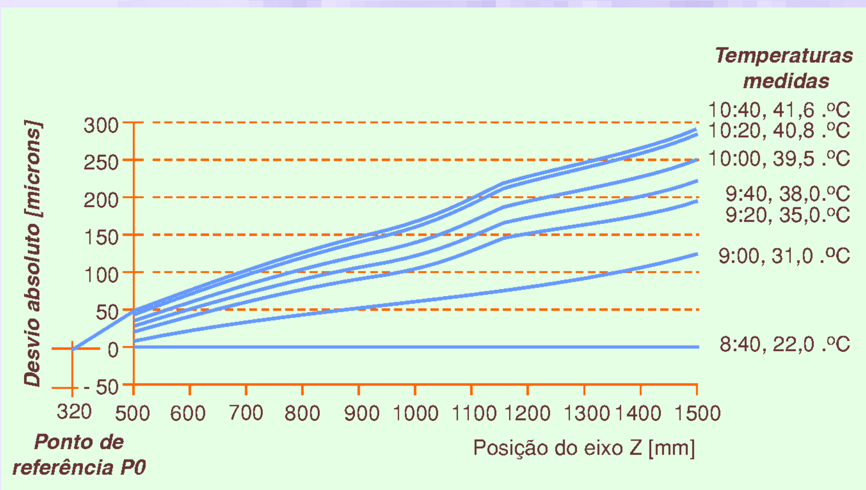


Figura 4 - Desvio devido à dilatação térmica.

As estruturas de ferro fundido, seja a própria base da máquina ou outras partes menores como os corpos de cabeçotes, necessitam, cada uma, de seu modelo de fundição.

A fabricação destes modelos se justifica quando o volume de peças iguais é razoável. O custo de um modelo de fundição, não justifica seu emprego se o número de peças a serem fundidas com este modelo for reduzido.

No caso do *retrofitting*, ainda pior, porque você certamente está distante do fabricante original da máquina, que é quem possui o modelo de fundição e se alguma nova peça necessitar ser fabricada devido à trinca ou mesmo perda (não são raros os casos onde alguns cabeçotes da máquina original, estão "desaparecidos"), você deve projetá-la, então, em chapa soldada.

As estruturas de ferro fundido, se bem normalizadas, apresentam boa rigidez às dilatações térmicas: suas dimensões praticamente não sofrem qualquer variação ao longo de um dia.

Já as fabricadas de chapa soldada não possuem tal vantagem. É claro que no projeto de estrutura de chapas, preve-se um nervuramento para garantir a rigidez e a estabilidade dimensional, mas certamente, dependendo da composição do aço, pode haver alguma dilatação térmica.

Tal dilatação térmica ocorrendo por exemplo em um barramento longo ou cabeçote de fresadora tipo portal, já distorce o posicionamento da ferramenta em relação às coordenadas de zero-máquina. Atente para a **figura 4**.

A cidade de Curitiba gera vários casos interessantes a este respeito, especialmente porque não existe em todo o Brasil nenhum outro pólo industrial com tamanha variação térmica média anual. Em dias de verão, a máquina amanhece a menos de 10 ºC, enquanto que às 15:00 já está sob uma temperatura de quase 40 ºC. Tal variação reflete certamente alteração dimensional na estrutura da máquina.

A **figura 5** a seguir mostra o comportamento empírico de uma estrutura de chapa soldada sujeita a variação térmica. Note que o comportamento parece ser linear, mas existe uma região onde o coeficiente de dilatação sofre grande perturbação.

Isso é explicado devido a acomodações do material quando passa de um patamar de temperatura para outro. Esse fenômeno acontece na prática, mas sua interferência na dimensão estrutural não é tão percebida.

Fique apenas com o conceito de um coeficiente térmico fixo para cada eixo. Na maioria dos CNCs, este é o recurso disponível. Alguns modelos mais sofisticados, esses sim permitem uma variação deste coeficiente de acordo com a temperatura.

Nesses CNCs complexos, a equação da dilatação não é linear como conhecida em cursos de graduação, mas sim diferencial.

A inserção do coeficiente de dilatação é via dados de máquina e não deve ser alterada pelo usuário, pois comprometerá o posicionamento. Faça você durante o *start-up* e documente que parâmetros estão sendo alterados e seus valores. No futuro, o próprio pessoal de manutenção do cliente pode alterar estes coeficientes.

Em termos de hardware, é necessário que o CNC possua um interface analógica para leitura de temperatura. O tipo de sensor é clássico: PT100 ou qualquer outro transdutor linear de temperatura em corrente.

Dependedo do tamanho da estrutura e dos pontos críticos para dilatação, mais de um sensor poderá ser empregado. Existem literaturas vastas sobre trabalhos de especialização neste ramo, assim não há uma regra pronta para se usar.

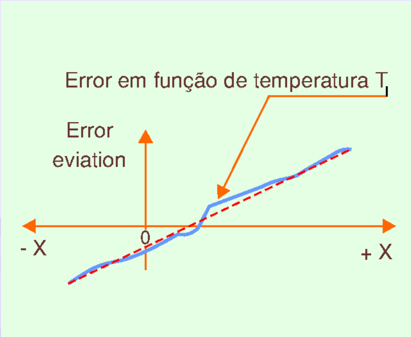


Figura 5 -
Erro x Temperatura.

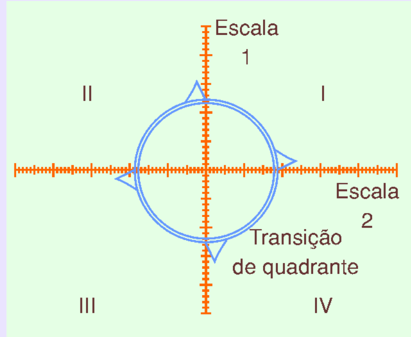


Figura 6 - Aparecimento de bicos no perfil da circunferência.

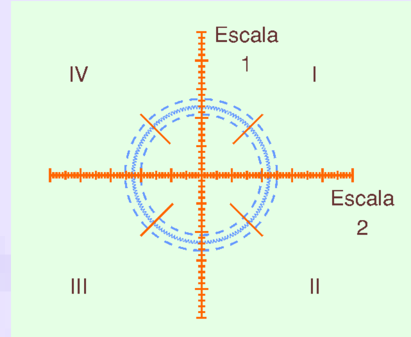


Figura 7 - Compensação para retirada dos bicos.

Um bom conselho para a melhor otimização é entrar em contato com o fabricante original da máquina e extrair dele quais locais são críticos para o monitoramento.

CORREÇÃO DE INVERSÃO POR QUADRANTE

Este é um caso bem particular de correção. Não é toda aplicação que vai necessitar que seu CNC possua capacidade de corrigir o impulso de inversão por quadrante gerado em uma interpolação circular.

Primeiramente, é necessário explicar que fenômeno é esse e depois qual é o recurso de CNC que o contorna.

Quando fazemos uma interpolação circular com o intuito de perfazer uma volta completa como, por exemplo, uma operação de fresamento circular de topo, gerando uma cavidade ou uma ilha, é bem freqüente o aparecimento de "bicos" no perfil da circunferência, nos pontos de inversão de sinal de sentido de deslocamento dos eixos. Veja a **figura 6**.

A razão destes "bicos" é a mudança não suave do vetor aceleração tangencial da ferramenta. Nos pontos de inversão existe uma singularidade que, dependendo do algoritmo do CNC, pode ser ignorada ou aproximada de uma constante. Esta singularidade ocorre porque quando temos uma inversão de eixos, sucede também uma troca de inércias.

Aquele eixo que estava em velocidade maior vai agora sendo freado, enquanto que o que estava bem lento necessita ser acelerado mais bruscamente. Nesta situação ocorre algum atraso entre o sinal que o CNC envia ao eixo e o seu movimento.

Este fenômeno é mais visível quanto mais rápido é o avanço de corte. Em velocidade de 10 m/min e fresas de topo de 12 mm ou maiores, esse efeito é tal que a peça é refugada. A saída é abaixar a velocidade de corte ou o diâmetro da fresa.

Há, porém, o recurso de otimização do CNC. Quando existe possibilidade de se otimizar a malha de velocidade dos eixos de forma que a descontinuidade seja substituída por uma rotina de compensação de inversão por quadrante, você pode voltar a trabalhar com sua ferramenta e avanços originais, que o resultado será tão bom quanto o de uma condição mais conservadora.

Esta rotina de compensação só está presente em CNCs e Drives Digitais. Nem tente com sistemas analógicos e regulados por *trimpots*, pois para cada condição de raio de curvatura e velocidade de corte, o CNC altera a malha de controle dos eixos.

O tratamento desta compensação é feito através de redes neurais, que de maneira bem simples, são redes de aprendizado. O Kernel do CNC, após parametrizado em uma condição ótima para uma curva e velocidade de corte, extrapola tal resultado para as demais. Observe a **figura 7**.

Nas primeiras curvas o operador ainda carrega dados de erro numa tela própria, para que o CNC aprenda com os erros e utilize esta informação numa próxima curva.

O que o CNC faz é dizer aos *drives* que a inversão ocorrerá, e então o controle de corrente fica mais afinado de forma que a resposta do motor fica mais rápida ao comando do CNC. É equivalente a um ganho proporcional dinâmico, exclusivo para a região imediatamente antes e após as inversões de movimento.

Mande um *e-mail* para a Redação que eu devolvo uma explicação específica sobre redes neurais. É um conceito formidável, pena não ser tão difundido nos cursos superiores. Para os amantes da matemática, isso é um prato cheio.

Com o advento dos processadores Pentium e controladores ASICS, o algoritmo de redes neurais roda hoje em CNCs, tão ou melhor que naqueles laboratórios da NASA que você vê em filmes sobre a Guerra Fria e o homem na Lua.

Leve daqui o conceito de que o emprego de compensação de inversão de quadrante é o recurso mais que necessário quando você não pode dispensar uma interpolação de alta velocidade e, ao mesmo tempo, exige uma forma final perfeita.

Aliás, sobre interpolações de alta velocidade falaremos no próximo artigo, quando vou fechar a série sobre seleção de CNC para *retrofitting*, explicando interpolações para *High Speed Cutting*: o uso de compressores matemáticos e de funções não lineares como *Splines* e a badalada curva NU[redacted]

Sensores térmicos

NTC e PTC (1ª parte)

Wendell de Queiróz Lamas

Sem sombra de dúvida, uma das grandezas mais difíceis de ser mensurada e, principalmente, controlada, é a temperatura. Isso porque além dos instrumentos e demais acessórios envolvidos na medição, os fatores externos também influenciam na medida e na operação do sistema como um todo.

Contudo, os avanços tecnológicos com os quais convivemos, têm minimizado significativamente os erros de leitura que podem ocorrer, assim como a influência das variações da temperatura ambiente e dos elementos do sistema de medição.

Nesse intuito, três tipos fundamentais de elementos sensores de temperatura, baseados na tecnologia envolvida em sua construção e nos demais componentes dos sistemas de medida e de controle, são descritos e exemplificados a seguir: os termistores, os termo-resistores ou RTDs, e os termopares.

Os termistores, que têm seu nome oriundo do inglês *thermal resistors*, são resistores semicondutores sensíveis à temperatura e têm, de acordo com o seu tipo, um coeficiente resistência / temperatura negativo (NTC) ou positivo (PTC).

Essa distinção entre o termistor PTC (*Positive Temperature Coefficient*) e o NTC (*Negative Temperature Coefficient*) é caracterizada pelo material que é empregado em sua construção. Tais dispositivos são construídos a partir de misturas de cerâmicas de óxidos semicondutores, tais como titanato de bário para os PTCs, e magnésio, níquel, cobalto, cobre, ferro e titânio para os NTCs.

Tipicamente operando sobre uma escala de -200°C a + 1000°C, esses elementos são fornecidos nos formatos de bolha de vidro, de disco, de microplaquetas e de ponta de prova. Os NTCs devem ser escolhidos quando uma mudança contínua de resistência é requerida sobre uma larga escala de temperatura. Têm como principais características: estabilidade mecânica, térmica e elétrica, junto com um elevado grau de sensibilidade.

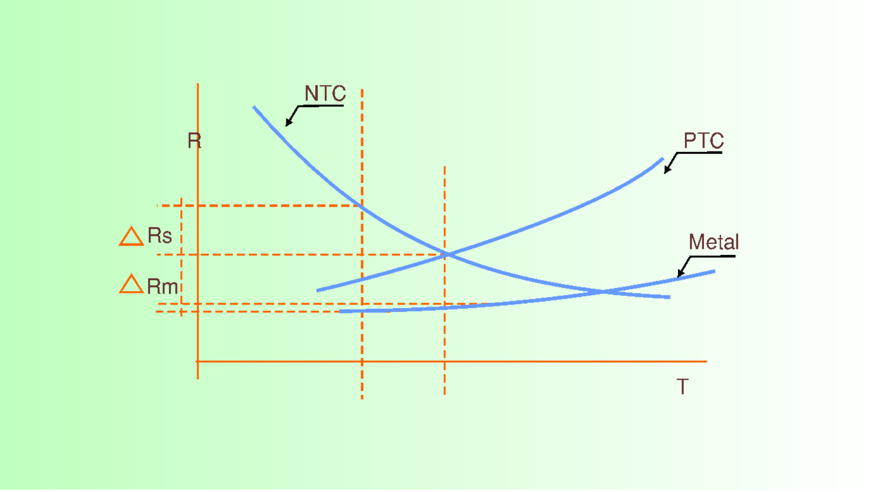


Figura 1 - Variação da resistência com a temperatura para vários materiais (UFRGS / LMM).

A combinação excelente de preço e desempenho propiciou o uso extensivo de termistores NTC em vasta gama de aplicações, tais como na medida e no controle da temperatura, na compensação da temperatura, na supressão de surtos e na medida do fluxo de líquido.

Por sua vez, os termistores do tipo PTC deverão ser escolhidos quando uma mudança drástica na resistência for requerida em uma temperatura específica ou em um nível de corrente. Os PTCs oferecem melhor desempenho em aplicações como:

- Detecção de temperatura, comutando nas temperaturas que variam de 60°C a 180°C, por exemplo; proteção dos enrolamentos nos motores elétricos; e em transformadores.
- Fusível de estado sólido para proteger contra excessivos níveis de corrente, variando de miliampères a diversos ampères (considerando-se a temperatura ambiente de 25 °C) em tensões contínuas de 600 V ou mais, por exemplo, na fonte de alimenta-

ção para uma larga escala de equipamentos elétricos de potência.

- Sensor de nível de líquidos.

Na ilustração da **figura 1** pode-se observar o comportamento da resistência de vários metais face à mesma variação de temperatura imposta a eles. Nota-se que a variação de resistência de um metal qualquer (ΔRm) é significativamente menor do que a de um NTC (ΔRs) e, por sua vez, o PTC tem um comportamento intermediário a esses.

Esse comportamento dos metais face à sua exposição a temperaturas variáveis, passa por dois efeitos físicos: efeito termo-mecânico e efeito termo-resistivo.

O efeito termo-mecânico relaciona a alteração nas dimensões de um material, não necessariamente um condutor elétrico, causada por uma determinada variação de temperatura.

A **tabela 1** relaciona coeficientes de expansão de alguns materiais geralmente utilizados na confecção de termo-resistores.

Já o efeito termo-resistivo consiste em utilizar-se da variação da resistência elétrica causada em um material por uma determinada variação na temperatura.

O valor teórico da resistência elétrica de um material, a uma dada temperatura, pode ser obtido por:

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2),$$

onde R_0 é o valor da resistência elétrica do material a 0°C.

O coeficiente *b* para a maioria dos materiais, exceção feita ao níquel, pode ter seu valor considerado como nulo; assim sendo, a curva referente à relação entre a resistência e a temperatura tende a ser linear.

Por sua vez, o coeficiente *a* tem os valores para alguns tipos de materiais ilustrados na **tabela 2**.

As **figuras 2** e **3** mostram o levantamento da curva de resistência versus temperatura em experiência realizada no Laboratório de Medições Mecânicas, da Univer-

Material	Símbolo	C.E.T(x10E-6)	Resistividade (ohm/cm)	Ponto de fusão (°C)
Alumínio	Al	28,7	2,8	660
Molibdênio	Mo	6,0	5,7	2630
Níquel	Ni	15,5	9,7	1455
Platina	Pt	9,0	10,6	1774
Tungstênio	W	4,6	5,6	3370

Tabela 1 - Coeficiente de expansão térmica para alguns metais mais utilizados (UFRGS/LMM).

Material	Símbolo	Resistência/ Coeficiente de temperatura
Alumínio	Al	3,9
Molibdênio	Mo	4,5
Níquel	Ni	4,7
Platina	Pt	3,0
Tungstênio	W	4,5

Tabela 2 - Relação entre resistência e coeficiente de temperatura de alguns metais (UFRGS/LMM).

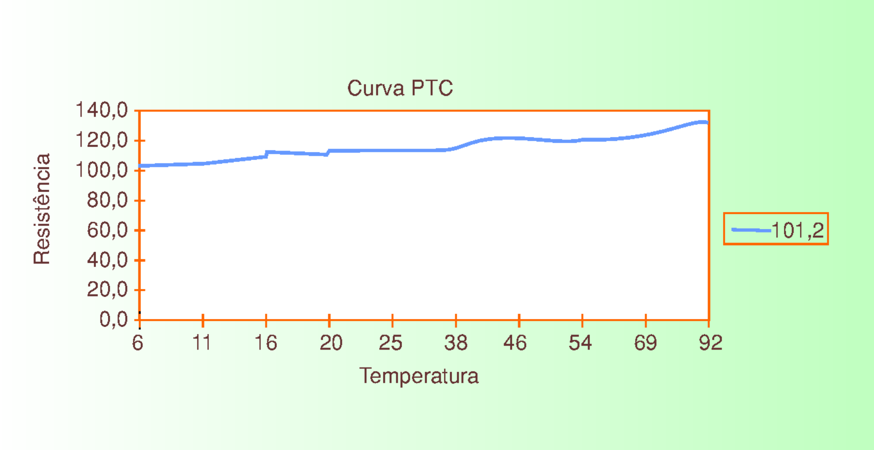


Figura 2 - Curva de calibração do PTC (UFRGS / LMM).

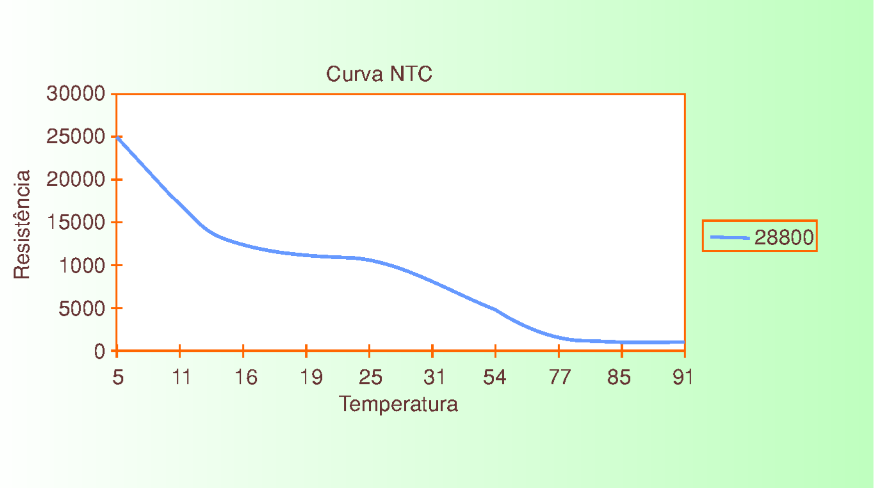


Figura 3 - Curva de Calibração do NTC (UFRGS / LMM).

Resistência Versus Temperatura - Experimental

PTC		NTC		Pt100		Ni100	
T(ºC)	R(ohms)	T(ºC)	R(ohms)	T(ºC)	R(ohms)	T(ºC)	R(ohms)
2	101,2	2	28800	2	100,2	2	100,9
6	103,2	5	25100	7	102,3	5	102,0
11	104,9	11	18420	10	103,5	11	105,8
16	106,2	16	14260	16	105,2	16	110,5
20	107,3	19	12530	20	107,2	20	112,8
25	107,6	25	10000	25	109,7	25	113,9
38	116,1	31	5690	33	113,3	32	119,8
46	118,3	54	3070	48	118,3	54	130,6
54	121,9	77	1280	53	120,1	73	138,7
69	123,0	86	1000	78	130,1	87	151,1
92	130,2	91	806	94	136,2	93	155,5

Tabela 3 – Resistência versus Temperatura: resultados experimentais (UFRGS/LMN).

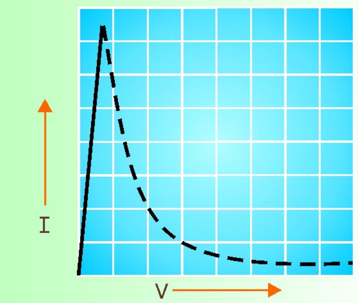


Figura 5 - Relação entre corrente e tensão em circuito de proteção com PTC (RTI Eletronics, Inc.).

sidade Federal do Rio Grande do Sul, onde diversos elementos sensores foram depositados em um recipiente com água, que foi aquecida até a sua ebulição e depois resfriada com cubos de gelo.

Esta ação possibilitou levantar as curvas de calibração dos termistores e avaliar sua variação com relação a temperaturas conhecidas, estabelecendo-se, assim, um padrão de comportamento.

A **tabela 3** apresenta os valores observados nesse procedimento experimental.

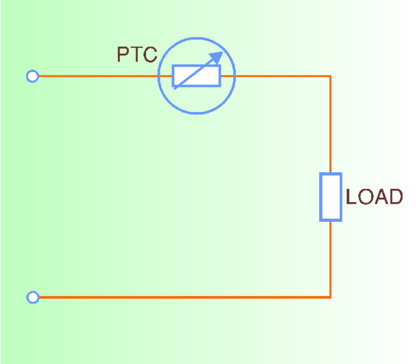


Figura 4 - Circuito de proteção com PTC (RTI Eletronics, Inc).

TERMISTOR PTC

As aplicações com termistores PTC padrão podem ser classificadas em dois grupos principais:

1. Aplicações onde a temperatura do PTC é determinada primeiramente pela temperatura do ambiente circunvizinho.

2. Aplicações onde a temperatura do PTC é determinada primeiramente pela potência elétrica dissipada pelo dispositivo.

O primeiro grupo inclui aplicações tais como a medida de temperatura, o controle de temperatura, a compensação da temperatura e a proteção contra temperatura excessiva (superaquecimento).

O segundo grupo inclui aplicações tais como a proteção de sobrecarga, detecção de nível de líquidos, detecção do fluxo de ar, atraso de tempo, aplicações de corrente e de temperatura constantes.

Não se deve aplicar uma tensão que exceda $V_{máx}$ ao dispositivo PTC, pois essa atitude pode destruir o termistor, lembrando-se que $V_{máx}$ é a tensão nominal máxima do elemento sensor. Embora diversos PTCs possam ser conectados em série para aplicações de detecção de temperatura, o mesmo princípio não deve ser utilizado a fim de se obter valores nominais de tensão mais elevados. Desde que nenhum dos dois dispositivos seja exatamente o mesmo, um tenderia a aquecer-se mais rapidamente do que o outro, o que limita, desse modo, a corrente que flui através do circuito e tendo por resultado a inteira disponibilidade da tensão que está sendo limitada através de um único dispositivo.

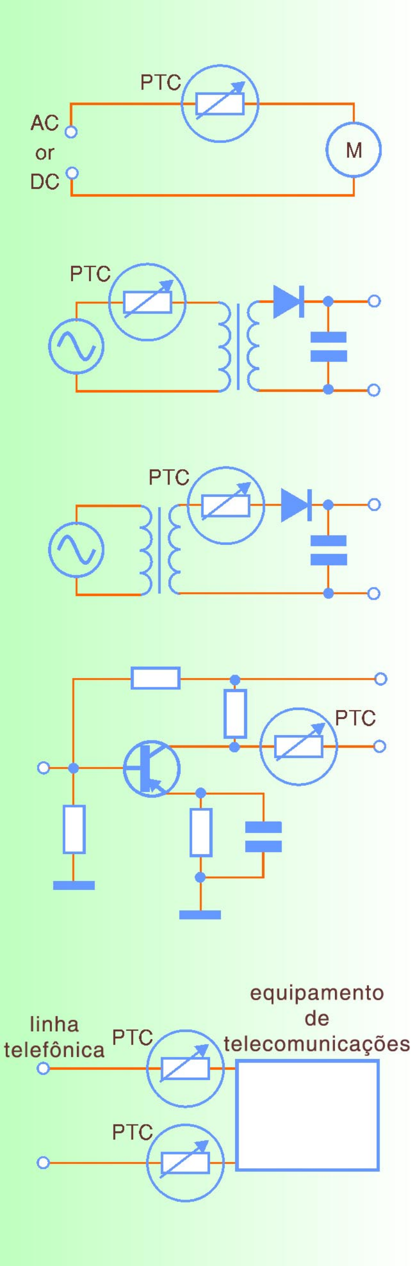


Figura 6 - Aplicações para protetores de sobrecarga (RTI Eletronics,Inc.).

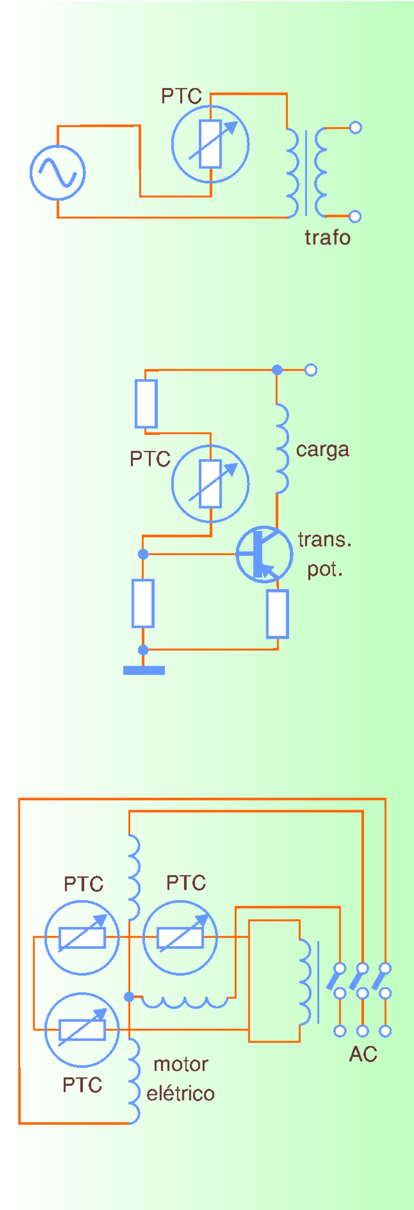


Figura 7 - Aplicações de PTC como sensor de temperatura (RTI Eletronics, Inc).

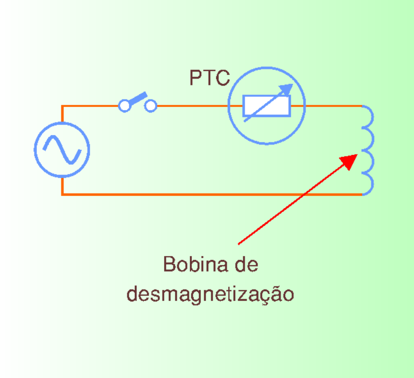


Figura 8 - Circuito com bobina de desmagnetização (RTI Eletronics, Inc).

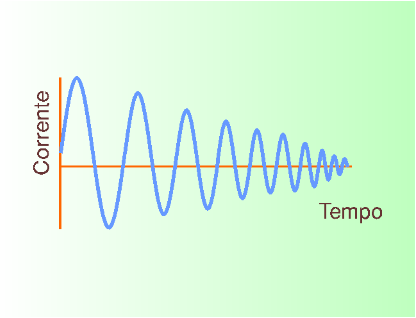


Figura 9 – Atenuação da corrente em circuito com bobina de desmagnetização (RTI Electronics, Inc.).

Os PTCs podem, entretanto, ser conectados em paralelo para aumentar os valores nominais de corrente nas aplicações onde o limite de corrente elétrica se faz necessário.

Aplicações de Termistor PTC

- Proteção de sobrecarga

A curva característica tensão-corrente do termistor PTC o faz um candidato ideal para ser usado como um curto-circuito ou como um dispositivo protetor de sobrecarga. O PTC é conectado em série com a carga que deve ser protegida, conforme visto na **figura 4**.

Em condições normais de operação, os PTCs permanecem em seu estado de baixa resistência tendo por resultado a atenuação insignificante do fluxo de corrente. Isto é ilustrado pela linha contínua na **figura 5**. Quando um curto-circuito ou uma condição de sobrecarga ocorre, o PTC comutará para seu estado de alta resistência que limita, desse modo, o fluxo de corrente no circuito a um ponto bem abaixo do nível normal de operação. Isto é mostrado pela linha pontilhada na **figura 5**. Quando a condição de falha é removida, o PTC retornará a seu estado de baixa resistência permitindo que o fluxo atual recupere seu nível normal.

A **figura 6** apresenta algumas das numerosas aplicações para protetores de sobrecarga.

- Sensor de temperatura

O típico termistor PTC padrão tem uma temperatura extremamente elevada para o coeficiente de resistência na temperatura de chaveamento e acima dela. Esta característica o faz ideal para várias aplicações de detecção de temperatura, especialmente detecção de temperatura excessiva (superaquecimento).

Alguns fabricantes têm unidades especificamente projetadas para detectar a temperatura de vários dispositivos, incluindo transistor de potência, dissipadores de calor, enrolamentos de motor, transformadores, entre outras. A **figura 7** ilustra algumas das aplicações.

- Auto-regulagem de aquecimento

Uma característica original dos PTCs é sua habilidade, enquanto auto-aquecido acima de sua temperatura de chaveamento, em manter uma temperatura quase constante não obstante flutuações grandes na temperatura ambiente ou na tensão aplicada. Aplicações específicas dessa característica de auto-ajuste de aquecimento englobariam o controle da temperatura de cristais, de osciladores e de mostradores de cristal líquido (LCDs).

- Desmagnetização automática

A **figura 8** mostra um PTC em série com uma bobina de desmagnetização de um CRT em uma televisão ou em um monitor colorido.

Quando o interruptor é fechado, a baixa resistência inicial do PTC permite que uma elevada corrente de contrafluxo flua. Após um curto período de tempo, o PTC comuta para seu estado de alta resistência, que reduz, desse modo, a corrente a um nível insignificante como ilustrado na **figura 9**.

A quantidade de tempo requerida pelo PTC para comutar em seu estado de alta resistência é aproximada pela equação 1.

Tempo (segundos) = He $(T_s - T_a)/P_o$ (1)

onde:

He = capacidade de calor aparente – segundos / °C;

T_s = temperatura de comutação (ºC);
T_a = temperatura ambiente (ºC);
P_o = potência inicial aplicada (watts).

- Partida de motor

A **figura 10** apresenta um termistor PTC em série com o enrolamento de acionamento em um motor elétrico monofásico. A baixa resistência inicial do PTC permite que corrente suficiente flua através do enrolamento até que o motor inicie seu funcionamento.

O PTC comuta, então, para seu estado de alta impedância, o que reduz a corrente fluindo através do enrolamento de partida para próximo de zero. O tempo de chaveamento pode ser aproximado pela equação 1.

- Atraso de tempo

Na **figura 11-A** o PTC está em série com a bobina do relé. Quando o interruptor for fechado, o relé energizará instantaneamente e permanecerá energizado até que o PTC comute a seu estado de alta resistência.

Na **figura 11-B** o PTC está em paralelo com a bobina do relé. Quando o interruptor for fechado, o relé não energizará até que o PTC comute para seu estado de alta resistência. O tempo requerido para o PTC comutar para seu estado de alta resistência pode ser aproximado pela equação 1.

- Nível de líquido / Fluxo de ar

A constante de dissipação dos termistores PTC varia proporcionalmente à condutividade térmica de seu ambiente. A **figura 12** mostra a curva corrente-tensão em estado estacionário de um PTC sujeitado a várias circunstâncias ambientais.

Esta propriedade os faz dispositivos ideais para detectar o nível de líquidos ou o fluxo de ar. A **figura 13** ilustra um típico exemplo para sensoriamento de nível de líquidos.

- Corrente constante

A **figura 14** exibe um PTC padrão em um circuito de corrente constante. Se a tensão aplicada

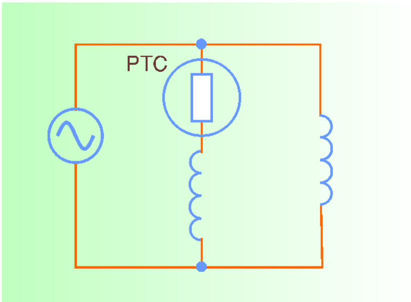


Figura 10 – Circuito de partida de motor CC (RTI Eletronics, Inc).

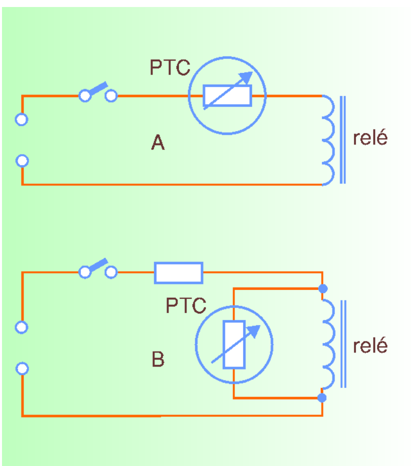


Figura 11 – Circuito de atraso de tempo (RTI Eletronics, Inc).

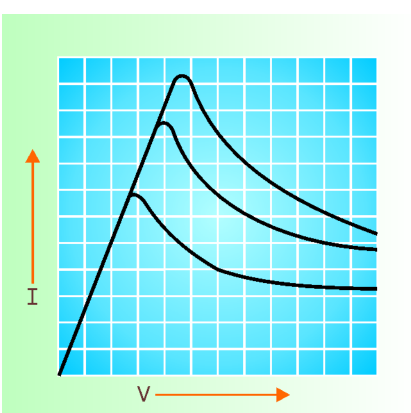


Figura 12 - Gráfico corrente versus tensão em estado estacionário de PTC (RTI Electronic, Inc.).

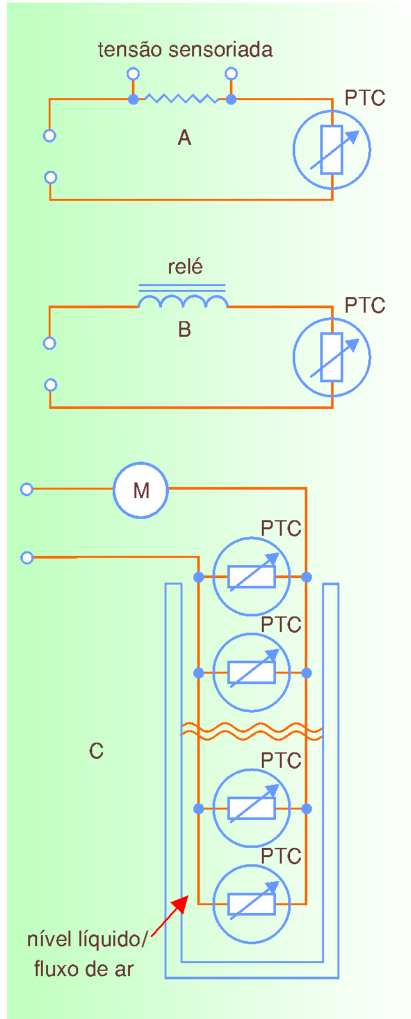


Figura 13 - Circuito para uso de PTC em sensor de nível (RTI Electronic, Inc.).

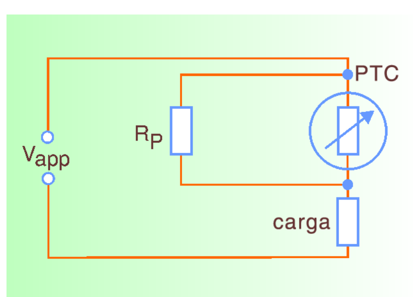


Figura 14 - Circuito de corrente constante (RTI Eletronics,Inc.).

	Comp(s). A	*Comp(s). B*	*Comp(s). C*	*Comp(s). D*
a=	2641,67	2183,03	2923,94	3197,35
b=	1,0643	6,619	4,8657	4,2865
c=	-0,0001571	-0,008048	-0,005363	-0,001836

Tabela 4 – Parâmetros de termistores de composição A, B, C e E (RTI Eletronics, Inc.).

(V_{app}) variar, a resistência do PTC mudará para compensar esta variação, tendo por resultado aproximadamente a corrente constante através da carga.

- Medida e compensação da temperatura

Os termistores PTC são geralmente projetados para exibir aumentos bruscos em sua resistência elétrica na temperatura de chaveamento e acima dela. Entretanto, os PTCs com características quase lineares para a relação resistência-temperatura estão disponíveis para aplicações de compensação da temperatura e na medida desta grandeza física.

TERMISTOR NTC

Como já foi mencionado, os termistores são semicondutores passivos sensíveis à temperatura que exibem uma mudança grande na resistência elétrica quando sujeitados a uma mudança relativamente minuciosa na temperatura de seu corpo.

Os termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC) diminuem a resistência quando sujeitados a um aumento na temperatura de seu corpo. Sua grande sensibilidade para mudanças minuciosas de temperatura permite-lhes executar muitas funções particulares antes impossíveis com os componentes eletrônicos tradicionais.

Característica temperatura-resistência de um NTC

A resistência de um termistor é uma função unicamente de sua temperatura de corpo absoluta. Ao testar a precisão da resistência é essencial que a temperatura ambiente circunvizinha seja mantida constante, e a potência dissipada no termistor deve ser baixa o bastante para assegurar nenhuma interferência térmica ("auto-aquecimento"). A fórmula para determinar a resistência dos termistores NTC em toda a faixa de temperatura dentro de seu limite de operação é:

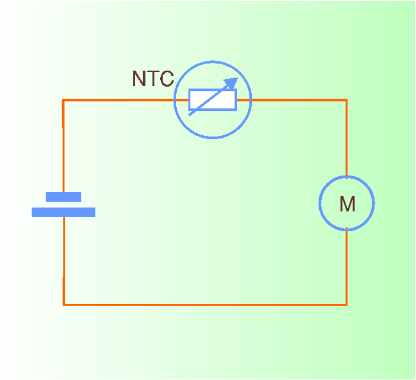


Figura 15 – Medidor de Temperatura com NTC (RTI Electronics, Inc.).

$$R_o(T) = R_o(T_o)[eY\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}]$$

onde:

$R_o(T)$ é a resistência na temperatura T

$R_o(T_o)$ é a resistência a 25°C

e é 2,718

T é a temperatura em que R é desconhecido, expressado em Kelvin (273,15 + °C)

T_o é 298,15°K (25°C)

Y é $(a + bT + T^2)$

A **tabela 4** representa os parâmetros a, b e c para os termistores de composição A, B, C e E da RTI Electronics, Inc.

O coeficiente de temperatura da resistência (α) é expressado matematicamente como segue:

$$\alpha = \frac{1}{R_o}\frac{dR_o}{dT} \text{ ohms/ohms/°C}$$

o qual é aproximadamente igual a β/T^2.

Aplicações com Termistor NTC

- Medida de temperatura

Quando uma quantia muito pequena de potência for dissipada em um termistor, sua temperatura será dependente do ambiente circunvizinho. Conseqüentemente, sua resistência elétrica torna-se uma função da temperatura ambiente e pode ser

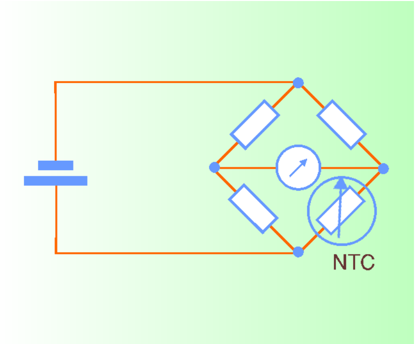


Figura 16 – Ponte de Resistores com NTC (RTI Electronics, Inc.).

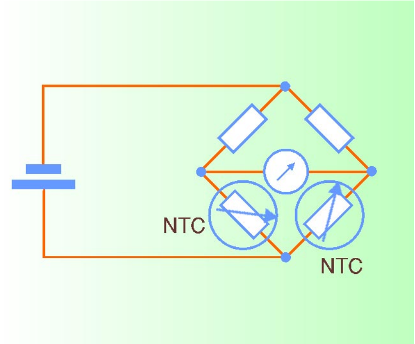


Figura 17 – Ponte de resistores balanceada com dois NTC (RTI Electronics, Inc.).

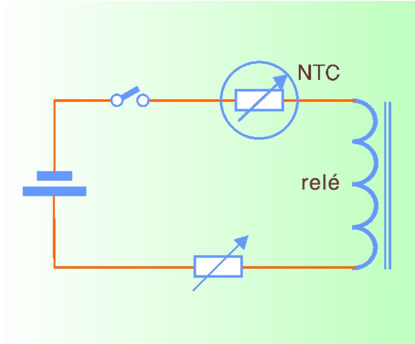


Figura 18 – Controlador de temperatura com NTC (RTI Electronics, Inc.).

usada para medir variações na mesma. Por causa do coeficiente de temperatura muito alto do termistor, medidas bastante exatas da temperatura podem ser feitas com um dispositivo de medição simples. A **figura 15** mostra um circuito simples usando um microamperímetro em série com um termistor conectado a uma fonte potencial. O medidor pode ser calibrado em função da temperatura.

Um método mais sensível seria ilustrado na **figura 16** empregando

um circuito de ponte com um termistor em uma das posições. Deve ser tomado cuidado para assegurar que a potência dissipada no termistor seja mantida em um mínimo e que o fluxo de corrente seja insuficiente para causar "auto-aquecimento".

- Diferencial de temperatura

Colocando termistores combinados em duas das posições de um circuito em ponte como visto na **figura 17**, diferenciais de temperatura próximos a 0,001 °C podem ser prontamente detectados.

- Controle de temperatura

Colocando um termistor em série com a bobina de um relé e um potenciômetro como indicado na **figura 18**, um controlador de temperatura simples é obtido. O potenciômetro controlará a temperatura de chaveamento do termistor.

Um controlador mais sensível pode ser obtido alimentando a saída de uma ponte de Wheatstone com termistores em duas posições, veja **figura 17**, em um amplificador de ganho elevado. Sensibilidades em torno de 0,005 °C podem ser detectadas facilmente por este método.

- Compensação de temperatura

Considerando-se que os metais usados para enrolamentos de bobinas, motores e transformadores têm um coeficiente positivo de temperatura da resistência, os termistores NTC são especialmente úteis para compensar mudanças da resistência nos dispositivos sujeitados às variações de temperatura. Onde uma bobina de cobre do medidor mudaria 50% na resistência sobre uma escala de temperatura geralmente usada, um termistor em *shunt* com um resistor ligado em série com a unidade a ser monitorada, como mostrado na **figura 19**, permite que a impedância total de um circuito seja mantida uniforme sobre toda a escala de operação. Devido ao alto coeficiente de temperatura do termistor ao contrário do baixo coeficiente de temperatura do cobre, a compensação total pode ser conseguida utilizando uma rede termistor-resistor. Esta rede adiciona menos de 15% à impedância total do circuito. Compensação de amplificadores a transistor e nos osciladores a cristal pode ser conseguida usando-se métodos similares.

- Atraso de tempo

Colocando um termistor em série com um relé, um potenciômetro e uma bateria como exibido na **figura 18**, um simples circuito de atraso de tempo é obtido. Um potencial relativamente elevado é aplicado ao circuito. O termistor começa o "auto-aquecimento" abaixando sua resistência e deixando mais corrente fluir. A corrente aumentada aquece mais o termistor, fazendo com que ainda mais corrente flua, que, por sua vez, atua o relé. O tempo requisitado pelo relé para atuar após a tensão ser aplicada pode ser controlado ajustando o potenciômetro.

- Supressão de sobretensão

Colocando um termistor em série com um filamento enrolado, observe a **figura 20**, o surto de corrente pode ser eliminado. A resistência do termistor é mais elevada do que a resistência total dos filamentos quando o circuito é ligado. Enquanto a corrente começa a fluir, o termistor se "auto-aquece". Sua resistência é reduzida a um mínimo e torna-se insignificante em comparação à resistência total do circuito.

Os surtos de corrente nos motores elétricos podem ser mantidos no mínimo usando-se o mesmo conceito. A **figura 21** mostra o surto de ligação de um motor CC típico antes e depois da aplicação de um termistor ao circuito.

CONCLUSÃO

Nesta edição, fez-se menção às características dos termistores e a algumas aplicações típicas deste tipo de dispositvo.

Na próxima edição, estar-se-á explorando os termo-resistores (RTD) e os termopares, dispositivos de grande importância para os sistemas de automação e controle de temperatura, nos mais variados setores da indústria.

Obrigado, e até a próxima!

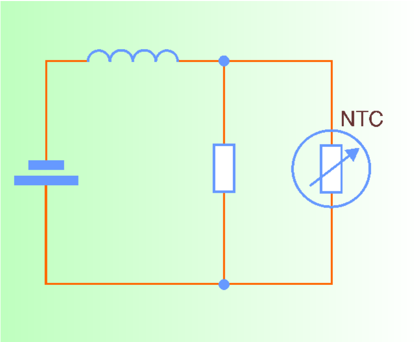


Figura 19 – NTC usado para compensar temperatura em circuito (RTI Electronics, Inc.).

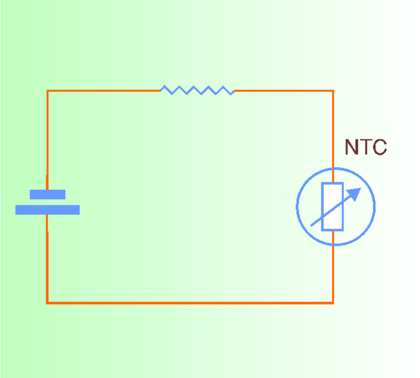


Figura 20 – Circuito para suprimir sobretensão (RTI Electronics, Inc.).

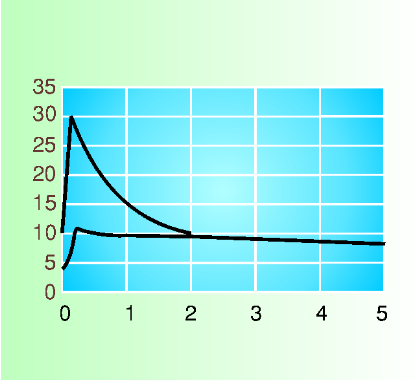


Figura 21 – Comportamento durante o acionamento de motor CC (RTI Electronics, Inc.).

Linguagem de programação LADDER - 2ª parte

O PROGRAMA VERSAPRO® 2.00

Fernando Pazos

A maioria dos programas aplicativos são desenvolvidos de maneira exclusiva para cada tipo de CLP. Assim, por exemplo, para cada modelo ou linha de CLP da Siemens existe um aplicativo específico; o mesmo acontece com cada marca de cada fabricante de CLP. Entretanto, a maioria dos programas comerciais, hoje em dia, são similares, possuem ferramentas comuns, e são de utilização bastante intuitiva para o usuário. Em geral os programas aplicativos são desenvolvidos para Windows, e dentre as ferramentas características podemos mencionar aquelas que permitem configurar o hardware, realizar um download do micro para o CLP, ler o programa carregado no CLP (operação conhecida como upload), desenhar um diagrama ladder, nomear variáveis, executar o programa no CLP, e conferir na tela do micro a execução do programa, entre outras muitas funções.

Seguidamente, será apresentado um programa aplicativo de maneira muito resumida, lembrando sempre que outros aplicativos, embora não sejam estritamente iguais, quase com certeza possuem ferramentas similares e uma maneira muito similar de serem utilizadas. O programa que será apresentado será o Versa-Pro® 2.00, para Windows, desenvolvido pela GE-Fanuc. O programa possibilita ao usuário a criação de diagramas de contatos próprios para qualquer CLP da linha GE-Fanuc, além de possuir recursos tais como monitoramento "on-line" dos estados das entradas e saídas na tela do computador, download e upload dos programas do micro para o CLP e do CLP para o micro, configuração das características do hardware utilizado no CLP, estabelecimento do modo de execução do programa aplicativo, entre outras muitas opções.

Os CLPs da GE-Fanuc podem ser programados de diversas maneiras. Eles possuem duas portas seriais (a primeira norma RS-232 e a segunda norma RS-485), e em qualquer uma delas pode ser ligado o dispositivo programador. Esse dispositivo pode ser um programador manual (*Hand Held Programmer*), ou um microcomputador ligado via porta serial.

INTRODUÇÃO AO AMBIENTE DE TRABALHO

O programa VersaPro® é um programa para Windows que permite realizar programas aplicativos para qualquer CLP da linha GE-Fanuc. Sua utilização é simples e intuitiva, e possui um grande número de opções para realizar diversas tarefas. Apresentaremos aqui apenas algumas opções mínimas a título de ilustração.

Clicado o ícone na tela do ambiente Windows, o programa é executado entrando no seguinte ambiente de trabalho (veja tela na **figura 1**).

Cada programa aplicativo realizado pelo usuário deverá ficar em uma pasta diferente. Em cada uma dessas pastas, além do arquivo que contém o diagrama *ladder* do aplicativo (ou o arquivo com a lista de instruções), existirá um arquivo contendo a descrição do hardware do CLP, entre outros necessários para a execução do aplicativo. O programa VersaPro® permite abrir pastas já existentes, criar novas, realizar diagramas *ladder*, salvar os arquivos de diagramas na pasta correspondente, configurar as características de hardware, salvar o arquivo de configuração na pasta correspondente, configurar os protocolos de comunicação, fazer *download* e *upload* de aplicativos de e para o CLP, executar e deter a execução de aplicativos no ambiente e monitorar a execução no ambiente.

DESCRIÇÃO DAS BARRAS DE TAREFAS

As barras de tarefas, assim como em muitos programas para Windows, podem ser personalizadas pelo usuário. A seguir, serão explicados os principais botões que aparecem nas diferentes barras padrões do programa.

Barra de ferramentas standard

Contém as ferramentas de criação, edição e impressão de arquivos e ajuda. Veja o **quadro 1**, ao lado.

Barra de ferramentas da linguagem *ladder*

Esta barra apresenta as ferramentas para realizar um diagrama *ladder*.Observe o **quadro 2**.

Barra de ferramentas de visualização

Esta barra permite mostrar, apagar ou dimensionar o conteúdo das diferentes janelas, assim como selecionar um modo de monitoramento de execução do programa (**quadro 3**).

Barra de ferramentas da pasta

Esta barra contém ferramentas para conferir a sintaxe dos blocos ou janelas selecionadas (**quadro 4**).

Barra de ferramentas do CLP

Esta barra contém ferramentas para fazer a conexão com o CLP, armazenar e carregar aplicativos para o (e do) CLP, executar e parar a execução de aplicativos, e mudar o estado de variáveis (**quadro 5**).

Barra de ferramentas de funções

Seleciona alguma função que pode ser inserida no diagrama *ladder*, por exemplo, funções lógicas, matemáticas, relacionais, trigonométricas, entre outras (**quadro 6**).

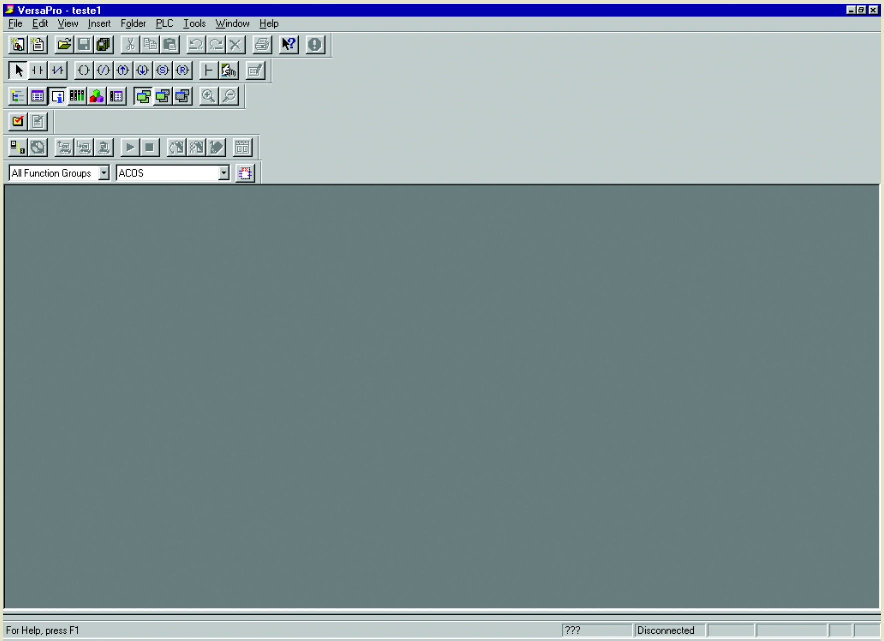


Figura 1 - Ambiente de trabalho do VersaPro® .

Quadro 1 - Barra de ferramentas standard

	Cria uma nova pasta.		Copia o conteúdo do Clipboard na área selecionada.
	Cria um novo arquivo.		Reverte a ação prévia.
	Abre uma pasta já existente.		Refaz a ação prévia.
	Salva o bloco corrente ou selecionado.		Apaga o item selecionado.
	Salva a pasta inteira.		Envia o item selecionado à impressora.
	Retira um item selecionado e o coloca no Clipboard.		Apresenta o menu de ajuda.
	Copia um item selecionado no Clipboard.		Aborta a comunicação.

COMO CRIAR UM PROGRAMA APLICATIVO

Primeiramente, deve-se criar uma nova pasta onde ficarão armazenados os arquivos do aplicativo. Para isso, deve-se *clicar* o botão correspondente e aparecerá a seguinte janela, conforme mostra a **figura 2**.

Ali deverá ser escrito o nome da pasta e selecionada sua localização. Ato contínuo, *clicar* o botão Next> e, então, aparecerá a janela ilustrada na **figura 3**.

Quadro 2 - Barra de ferramentas da linguagem Ladder

Seleciona ponteiro normal.	Permite colocar saída ativada com uma transição negativa durante um ciclo de varredura.
Permite colocar contato normalmente aberto.	Permite colocar saída SET.
Permite colocar contato normalmente fechado.	Permite colocar saída RESET.
Permite colocar saída normalmente aberta.	Permite colocar conexão horizontal ou vertical.
Permite colocar saída normalmente fechada.	Permite colocar uma chamada a uma sub-rotina.
Permite colocar saída ativada com uma transição positiva durante um ciclo de varredura.	Permite inserir uma linha de comentário.

Quadro 3 - Barra de ferramentas de visualização

Mostra/apaga o explorador de pastas e arquivos.	Seleciona o monitoramento de todas as janelas durante a execução do aplicativo.
Mostra/apaga a tabela de declaração de variáveis.	Seleciona o monitoramento apenas da janela ativa durante a execução do aplicativo.
Mostra/apaga a janela de informação.	Apaga o modo de monitoramento durante a execução do aplicativo.
Abre o menu de configuração de hardware.	Aumenta o conteúdo da janela ativa (Zoom in).
Abre o bloco principal onde é desenhado o diagrama Ladder.	Diminui o conteúdo da janela ativa (Zoom out).

Quadro 5 - Barra de ferramentas do CLP

- Conecta o CLP.
- Desconecta o CLP.
- Armazena a pasta corrente no CLP.
- Carrega um aplicativo do CLP para a pasta corrente.
- Confere se o aplicativo corrente coincide com o carregado no CLP.
- Executa um aplicativo armazenado no CLP (RUN).
- Pára a execução de um aplicativo armazenado no CLP (STOP).
- Muda o estado de uma referênciz ou variável selecionada de 1 bit.
- Ativa uma referência ou variável selecionada de 1 bit.
- Escreve um dado em uma referência ou variável selecionada de mais de 1 bit.
- Mostra o estado do CLP.

O caso mais comum consiste em selecionar *Empty Folder* (Default). Ao *clicar* o botão *Finish*, o sistema voltará ao ambiente principal, deixando a pasta criada como pasta corrente. Essa pasta poderá ser reaberta sempre que se desejar. O ambiente ficará da maneira apresentada na **figura 4**.

A janela de informação, a tabela de declaração de variáveis, e o editor de arquivos poderão ser apagados *clicando-se* nos botões correspondentes.

O próximo passo é eleger o hardware a ser utilizado. Para escolher um CLP da linha GE-Fanuc, deve-se selecionar *Tools* no menu de

Quadro 4 - Barra de ferramentas da pasta

- Confere a sintaxe de todos os blocos, colocando o resultado na janela de informação.
- Confere a sintaxe dos blocos selecionados, colocando o resultado na janela de informação.

Quadro 6 - Barra de ferramentas de funções

All Function Groups

Permite selecionar um grupo de funções.

ACOS

Escolhe uma função dentro do grupo selecionado.

Seleciona o modo de edição da função (DROP MODE)

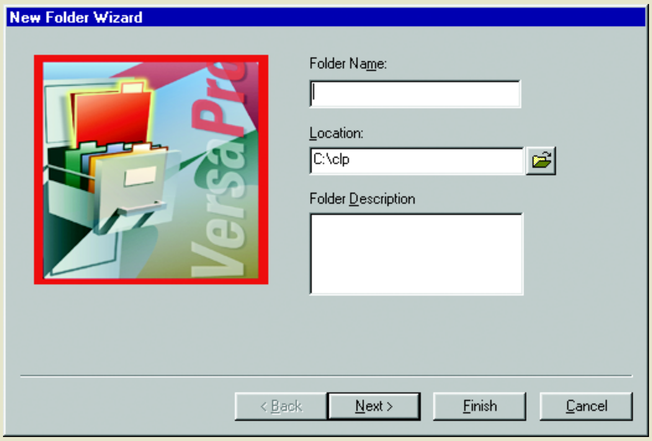


Figura 2 - Janela de nova pasta.

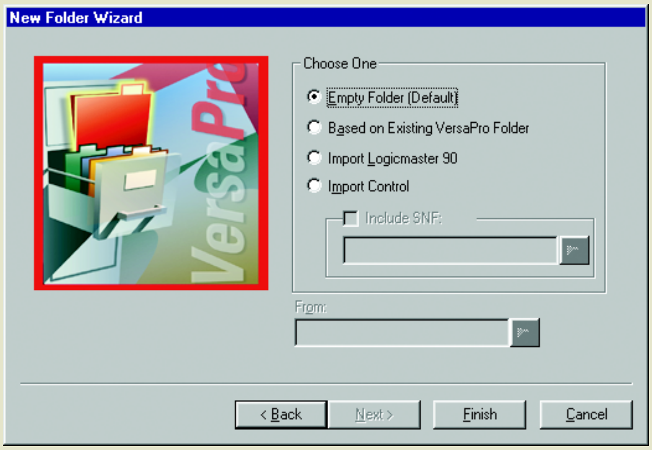


Figura 3 - Janela de seleção de pasta.

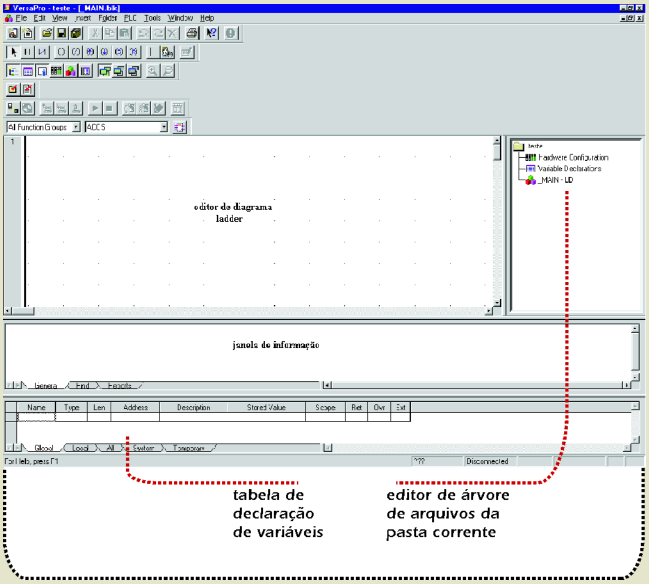


Figura 4 - Ambiente com pasta aberta.

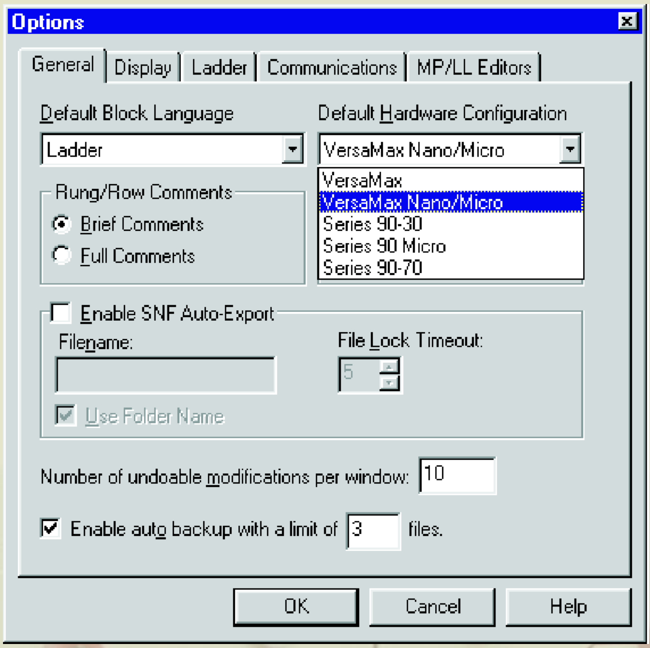


Figura 5 - Janela de opções

opções e a seguir a opção *Options*. A próxima janela será apresentada; veja **figura 5**.

Na barra de rolagem de *Default Hardware Configuration*, deve-se selecionar a opção correspondente; ato contínuo, *clicar* o botão OK.

Na seqüência, deve ser criado o arquivo de configuração de hardware. *Clicando* no botão correspondente, a seguinte janela (**figura 6**) é apresentada:

Primeiramente, deve ser selecionada a opção *File*, seguida da opção *Convert To*, e finalmente a opção do CLP correspondente. Continuando, clicando no botão de troca de CPU, pode-se selecionar o modelo a ser utilizado.

Observe a tela da **figura 7**.

Por fim, pode ser salvo o arquivo de configuração de hardware.

Já pode ser criado o diagrama *ladder* do aplicativo. Para isso basta *clicar* no botão do dispositivo que se deseja inserir no diagrama *ladder*, e colocá-lo na janela do editor de diagrama, por exemplo. Atente para a **figura 8**.

No início do diagrama, assim como entre as diferentes linhas, podem ser inseridos comentários *clicando-se* no botão correspondente.

O diagrama *ladder* completo pode ter a forma mostrada na **figura 9**.

Uma vez inserido o diagrama *ladder* completo, devem ser endereçadas as entradas, saídas, registros e todos os dispositivos utilizados. Para isso deve-se *clicar* duas vezes sobre cada dispositivo e, então, se abrirá uma pequena janela com uma barra de rolagem. Veja a **figura 10**.

Há duas possibilidades de endereçamento. A primeira, é escrever diretamente o endereço do dispositivo, por exemplo, se esse contato se referir à entrada I1, digitar %I1 seguido de *Enter*, essa possibilidade inclui *clicar* na barra de rolagem, onde aparecerá um *menu* de opções pré-determinadas pelo

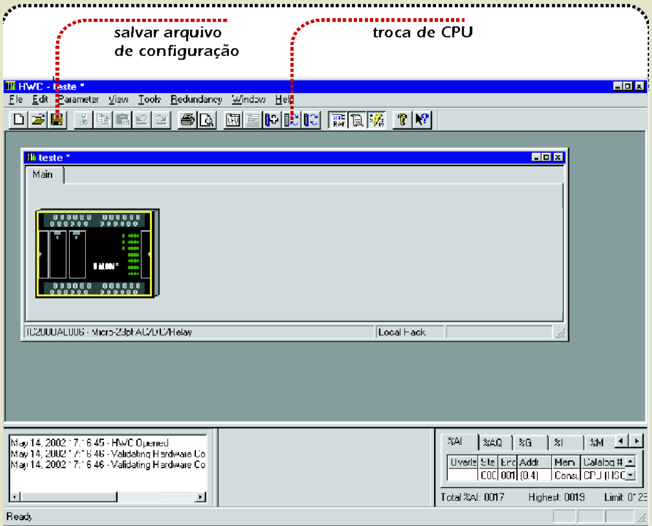


Figura 6 - Janela de configuração do hardware.

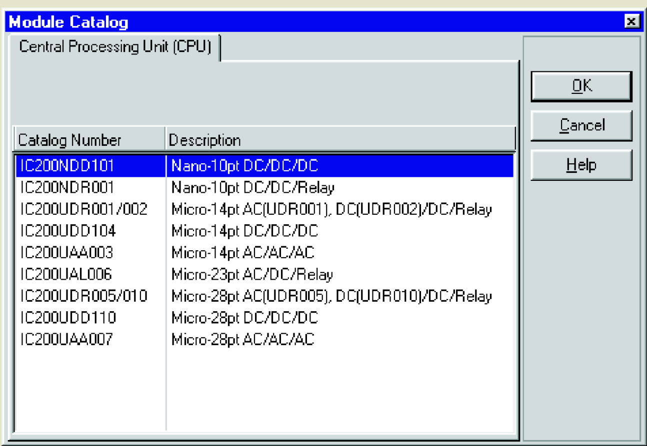


Figura 7 - Janela de seleção de CPU.

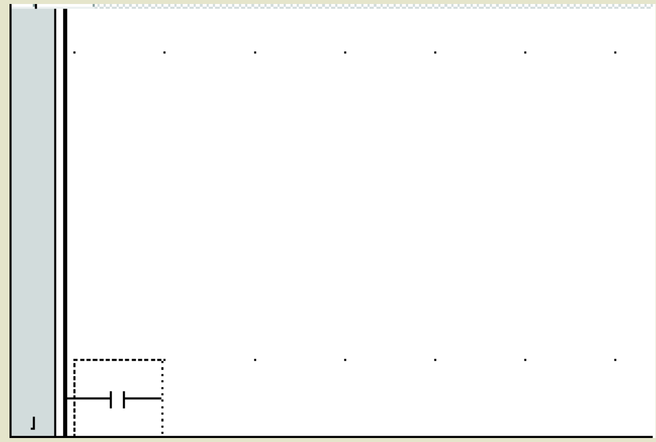


Figura 8 - Janela de diagrama ladder com contato N. A. inserido.

programa. A segunda, consiste em apontar esse dispositivo a uma variável, para depois colocar na janela com a tabela de declaração de variáveis o endereço correspondente a cada uma na coluna Address. A forma do diagrama *ladder* e da tabela de declaração de variáveis poderia ser, por exemplo, aquela apresentada na **figura 11**.

Deve-se observar que em alguns dispositivos foram colocados diretamente os endereços (é o caso de %M1), enquanto em outros, os dispositivos foram nomeados com variáveis (*start*, *stop* e saída). Na tabela de declaração de variáveis foram colocados os endereços correspondentes a esses dispositivos (respectivamente %I1, %I2, e %Q2), e o editor pôs esses endereços embaixo dos dispositivos.

Finalmente, pode-se conferir a sintaxe da janela ativa ou de todo o aplicativo *clicando* nos botões correspondentes. Na janela de informação aparecerá o resultado do teste.

Antes de executar o programa, caso não haja erro de sintaxe, podem ser salvos o diagrama *ladder* ou todos os arquivos da pasta, *clicando-se* nos botões correspondentes.

Armazenamento e execução do programa aplicativo

O primeiro passo que deve ser dado é conectar o CLP, *clicando* no botão de conexão. O CLP deve ter seu *switch* na posição RUN. Aparecerá a seguinte janela de seleção da porta de comunicação, conforme mostra a **figura 12**.

Nessa janela deve-se escolher a porta de comunicação do computador onde está ligado o CLP. *Clicando-se* no botão *Connect*, é realizada a conexão; o resultado dela aparecerá na parte inferior da tela.

A seguir, deve ser carregado o aplicativo no CLP (operação chamada de *download*). Para isso, *clique* o botão correspondente, observando que o botão de Stop esteja pressionado. A seguinte janela (**figura 13**) será apresentada:

Selecione-se a opção *Store logic to PLC*, seguida de OK. O resultado do armazenamento aparecerá na janela de informação.

Finalmente, para executar o programa basta *clicar* no botão correspondente. *Clicando* no botão de monitoramento, é possível observar na tela do editor do diagrama *ladder* o estado das entradas e saídas do CLP em forma *on-line*, sendo que as entradas e saídas ativadas serão re-

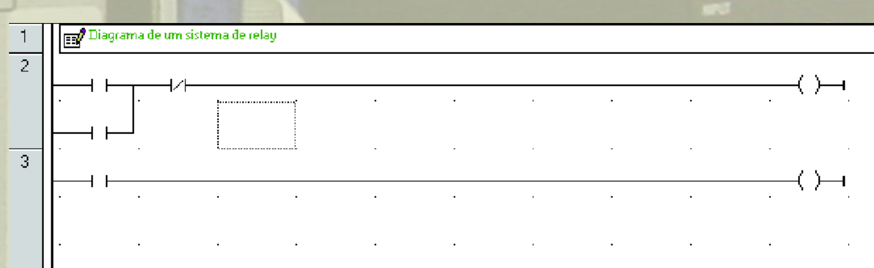


Figura 9 - Diagrama *ladder* completo com comentário.

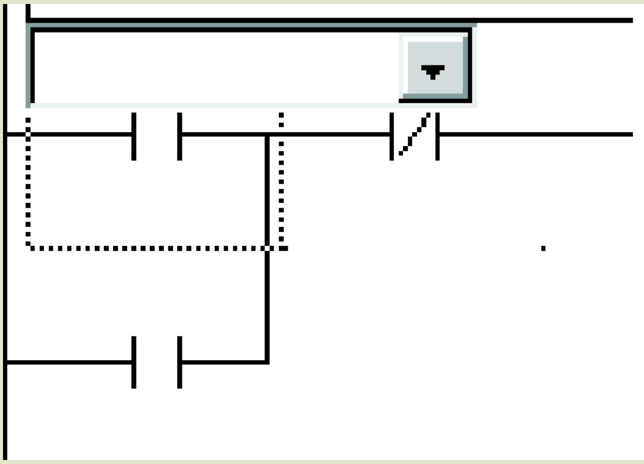


Figura 10 - Barra de rolagem para endereçamento de dispositivo.

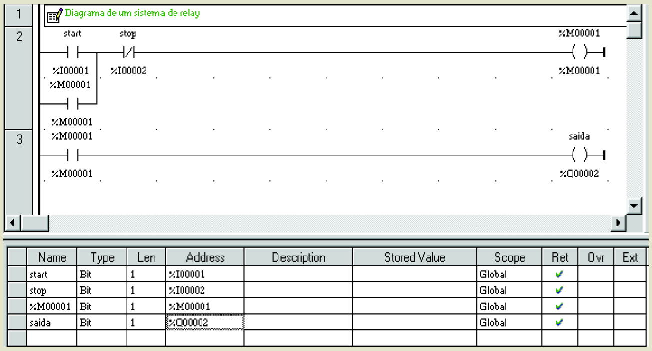


Figura 11 - Diagrama *ladder* com variáveis declaradas.

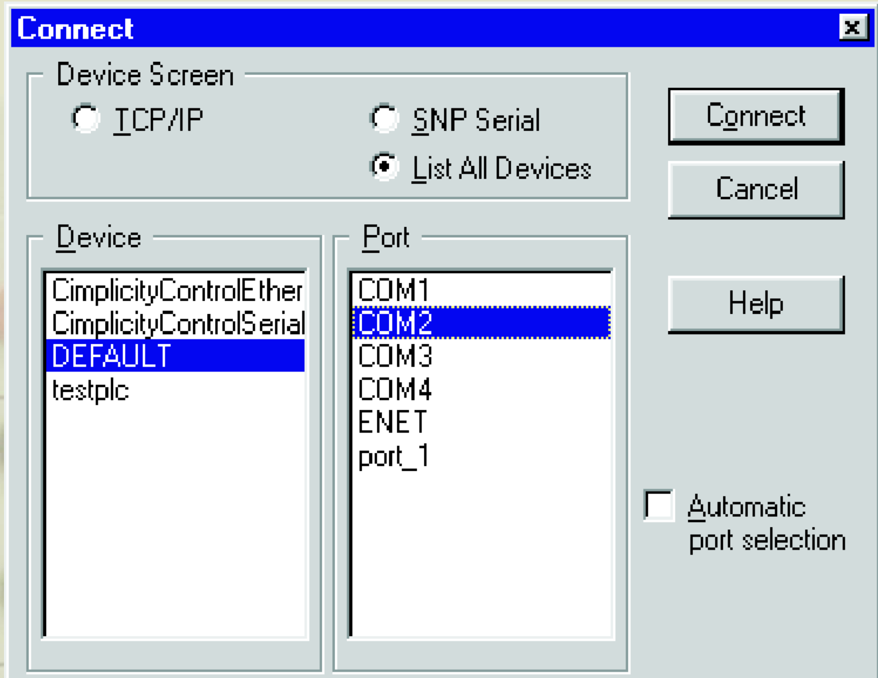


Figura 12 - Janela de comunicação com o CLP.

presentadas em vermelho (na opção por defeito do programa).

Instruções de programação

No editor de diagrama *ladder*, pode-se confeccionar um diagrama utilizando uma ampla variedade de instruções. Na seqüência, serão apresentadas apenas as principais delas.

Oscilador astável

Qualquer contato normalmente aberto pode ser configurado para estar permanentemente ativado (ALW_ON), permanentemente

Contatos, conexões e saídas

-| |- contato normalmente aberto
-|/|- contato normalmente fechado
-( )- saída normalmente aberta
-(/)- saída normalmente fechada
-(S)- saída com sentença SET
-(R)- saída com sentença RESET
-(↑)- saída ativada com transição positiva, permanece ativada durante um ciclo de varredura
-(↓)- saída ativada com transição negativa, permanece ativada durante um ciclo de varredura
_____ conexão horizontal
| conexão vertical

desativado (ALW _OFF), ou se abrir no primeiro ciclo de varredura (FST _SCN), entre outras muitas opções, todas apresentadas na barra de rolagem de endereçamento do dispositivo. Algumas dessas opções são de ativação e desativação da entrada a cada período de tempo, e isto é o que caracteriza essa entrada como oscilador astável. Assim, uma entrada pode ser "endereçada" com as seguintes características:

T_100MS: período de 100 ms
T_10MS: período de 10 ms
T_MIN: período de 1 minuto
T_SEC: período de 1 segundo.

Por exemplo, a linha ilustrada abaixo ativará e desativará a saída com um período de 1 segundo:



Temporizadores e contadores

Os temporizadores e contadores são instruções que ocupam três *words* na memória. O primeiro serve para armazenar o valor da contagem (de tempo ou eventos); o segundo para armazenamento do valor limite (*Preset Value*), e o terceiro tem objetivos de controle. Devem ser armazenados em três endereços de %R,

mas apenas o primeiro é especificado no diagrama *ladder*.

Outras instruções

Além dessas instruções, encontramos disponíveis instruções de operações matemáticas e lógicas, de comparação de dados (menor que, igual que, etc.) e de manipulação de dados (funções lógicas, deslocamentos de *bytes* e *words*, registros de deslocamento, conversão entre dados BCD e inteiro, pulos e sub-rotinas).

Aqui apresentamos um exemplo onde, a partir da quinta ativação da entrada %I1, a saída %Q2 se ativará nas ativações ímpares de %I1 e se desativará nas ativações pares de %I1. A entrada %I2 serve para *resetar* o registro %R1. Acompanhe na **figura 14**.

Ver sobre essas sentenças o manual de usuário do programa VersaPro®.

CONCLUSÃO

Como foi tratado na primeira parte deste artigo, a linguagem ladder nasceu com a necessidade de substituir os painéis de controle de comandos a relé. Assim sendo, o natural foi a implementação de uma linguagem gráfica que reproduza os diagramas de contatos utilizados pelos engenheiros para representar as fiações dos painéis de controle. Mas, como foi visto, a lógica de trabalho dos microprocessadores não segue esse padrão tipicamente combinacional, onde as saídas dependem do estado das entradas nesse instante, mas seqüencial, onde o controlador executa uma série de ações, ou instruções, em seqüência, podendo esta ser alterada, repetida em todo ou em parte, com rotinas que podem ser puladas ou não, segundo o caso, etc. Mas as linguagens ladders mais avançadas, como o VersaPro tratada na seção anterior, permite, mesmo numa maneira gráfica, editar programas com lógicas parecidas às utilizadas pelos microprocessadores, isto devido a diversos blocos que permitem trabalhar com manipulação de dados, estabelecer pulos a algumas linhas de programa, e até chamar sub-rotinas passando parâmetros convenientemente. Na grande maioria das aplicações, estes blocos são suficientes para criar programas poderosos e eficientes. Caso não seja possível implementar a lógica de um programa de controle com a linguagem ladder, outras linguagens de programação para CLPs, como a mencionada IL ("instruction list"), similar ao assembly dos microprocessadores, permitem realizar programas acompanhando exatamente a seqüência de ações por parte da CPU, mas consideramos que na maioria das aplicações seu uso não é necessário.

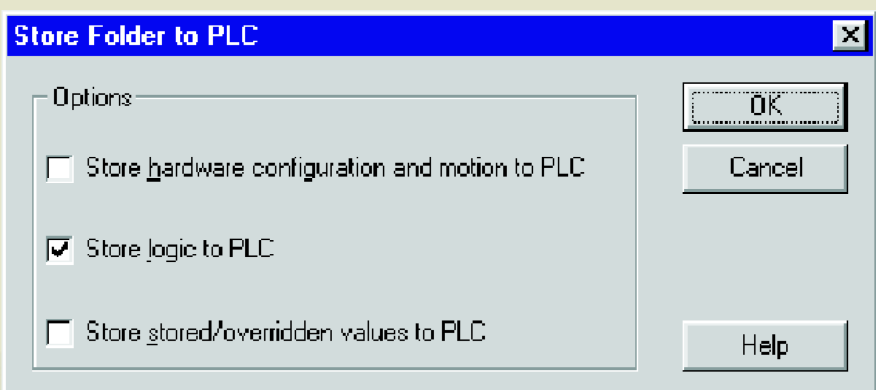


Figura 13 - Janela de armazenamento de aplicativo no CLP.

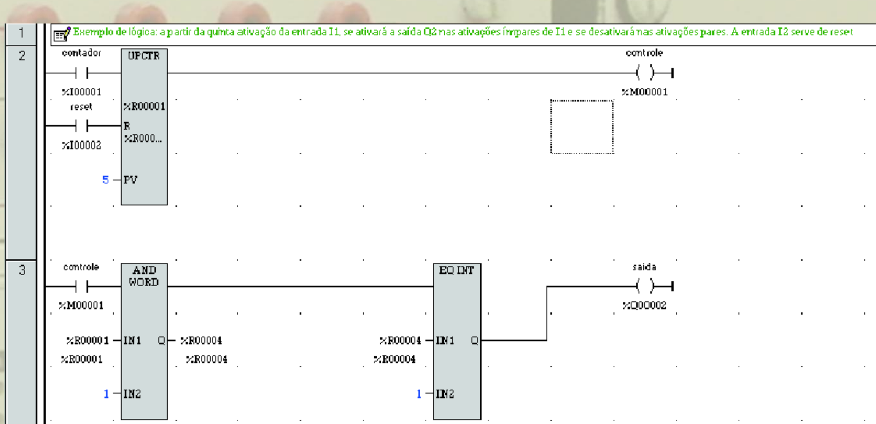


Figura 14 - Exemplo do diagrama de contatos utilizando diversas sentenças.

Bibliografia do artigo sobre Ladder

- Idoeta, I. e Capuano, F.: **"Elementos de eletrônica digital".** Editora Érica. 22ª edição. São Paulo, 1984.

- da Silveira, P. e Santos, W.: **"Automação e controle discreto".** Editora Érica. 1ª edição. São Paulo, 1998.

- Severo, B.: **"Curso de Controladores Lógicos Programáveis"**. Apostila do LEE, Faculdade de Engenharia, UERJ. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2000.

- Pazos, F.: **"Automação de sistemas e robótica"**. Apostila do laboratório de Robótica, Instituto de Tecnologia ORT. Rio de Janeiro, 2000.

- **Manual de usuário do programa VersaPro®**, CLP VersaMax, da GE-Fanuc.

Conectividade de pontos de entrada digital em CLPs

Paulo Cesar de Carvalho

Neste artigo vamos abordar um tema muito comum em projetos de automação e que freqüentemente exige uma atenção especial dos projetistas para evitar problemas como mau funcionamento, dificuldade de manutenção e isolação de circuitos Este tema é a conectividade dos pontos de entrada de um CLP. O enfoque deste artigo é apresentar problemas práticos que vivenciei em projetos de automação envolvendo a utilização de CLPs.

Cada fabricante de CLPs possui uma grande variedade de módulos de entrada digital que variam conforme a tensão de entrada e velocidade de aquisição de dados. A maioria dos módulos de entrada possuem uma limitação física de espaço na borneira e é bastante comum que um módulo possua 4, 8,16 ou até mesmo 32 pontos referenciados a um mesmo ponto comum. Este ponto comum é o negativo no caso de fontes DC, o neutro no caso de sinais 110 Vac ou uma fase no caso de sinais 220 Vac.

A **figura 1** mostra uma conexão de sinais digitais tipo contato seco em um módulo de 8 pontos de entrada 24 VCC. Note que a fonte de alimentação está no interior do painel do CLP e é esta fonte que "molha" os contatos secos. A única questão neste caso será a montagem da borneira do painel elétrico que poderá ter um borne por ponto, como mostrado nesta figura, que é o caso mais econômico ou dois bornes por ponto, **figura 2**, normalmente aplicado onde os sinais estão espalhados em painéis distintos e a opção por dois bornes por ponto é feita para tornar o painel "genérico" e o projeto elétrico possa ser aprovado antes da definição exata da localização dos pontos.

Em ambos os casos o projeto elétrico do painel e o projeto de interligação dos sinais de campo no CLP ficam simplificados pelo fato de haver uma única fonte de alimentação.

Como os pontos estão todos no interior de um mesmo painel, levamos o positivo da fonte do painel do

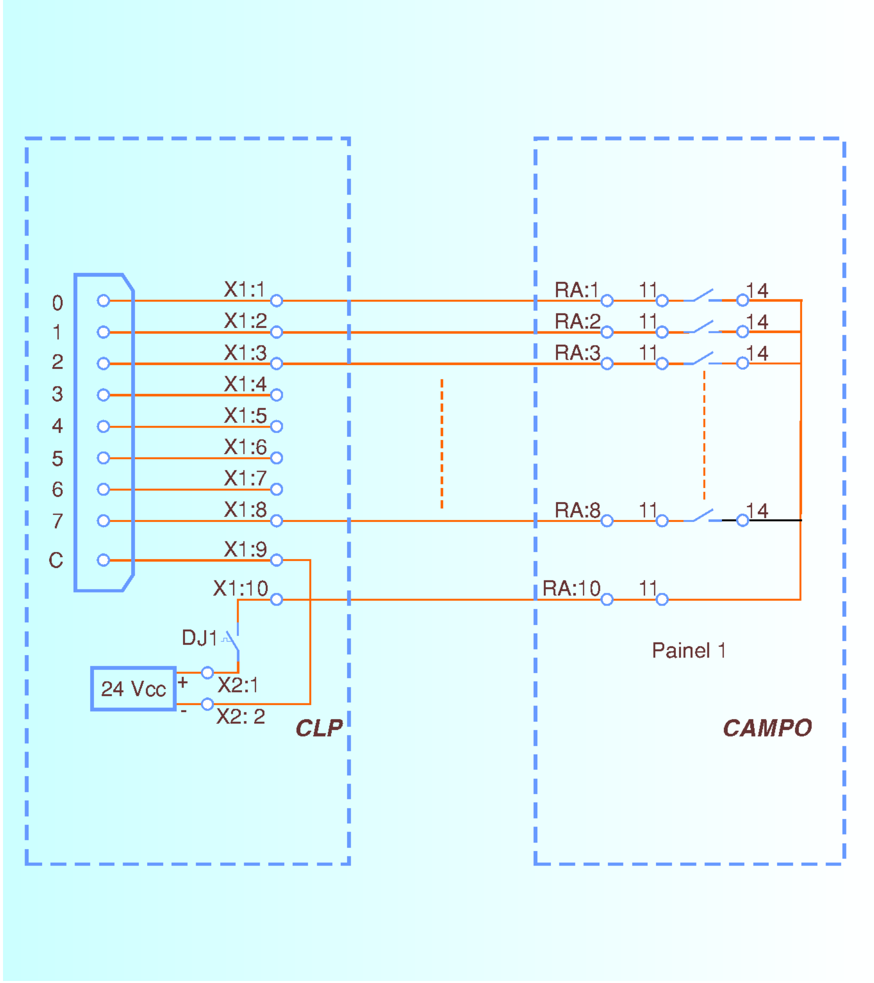


Figura 1 – Conexão de um módulo de 8 entradas 24 Vcc de um CLP com contatos secos localizados no mesmo painel de campo. A notação X1 refere-se a régua de bornes no interior do painel do CLP. A notação RA se refere à régua de bornes no interior do painel de campo.

CLP até o borne RA: 10 , "molhamos" todos os contatos e voltamos para o painel do CLP com um fio/borne por ponto de entrada. Para a proteção da saída da fonte foi utilizado o disjuntor DJ1.

A seguir, apresentamos na **figura 2** a conexão de um módulo de entrada digital 24 Vcc com sinais de campo tipo contato seco espalhados nos painéis de 1 a 8 .

Nos casos de projetos novos de painéis de CLPs para controle de máquinas ou processos industriais, os painéis devem ser projetados com a finalidade de facilitar ao máximo a conexão dos pontos de entrada e, neste caso, a opção pela tensão dos pontos e a forma de interligação é feita logo no início do projeto garantindo uma conectividade mais simples com menos tempo de implantação e comissionamento (testes de validação). Na seqüência, vamos apresentar casos de reformas onde os painéis são antigos e é necessário analisar o projeto elétrico deles, normalmente chamados de "funcionais" para entender a melhor forma de se fazer a aquisição dos pontos de entrada digital. Geralmente encontramos dois casos : sinais provenientes de painéis com tensões diferentes ou sinais alimentados pela mesma fonte porém separados através de disjuntores em diferentes circuitos.

SINAIS PROVENIENTES DE FONTES DE TENSÃO DIFERENTES

Considere o circuito funcional abaixo, da **figura 3**, onde o objetivo é amostrar os sinais E1, E2 , E3 e E4 empregando módulos de 8 entradas digitais. Neste caso utilizamos dois módulos de entrada digital, um para 110 Vac e outro para 220 Vac, cada um utilizando 2 pontos e os demais ficarão como pontos reserva. Esta solução nem sempre é possível em função da limitação de verba para aquisição de módulos, falta de espaço para conexão de mais um módulo e au-

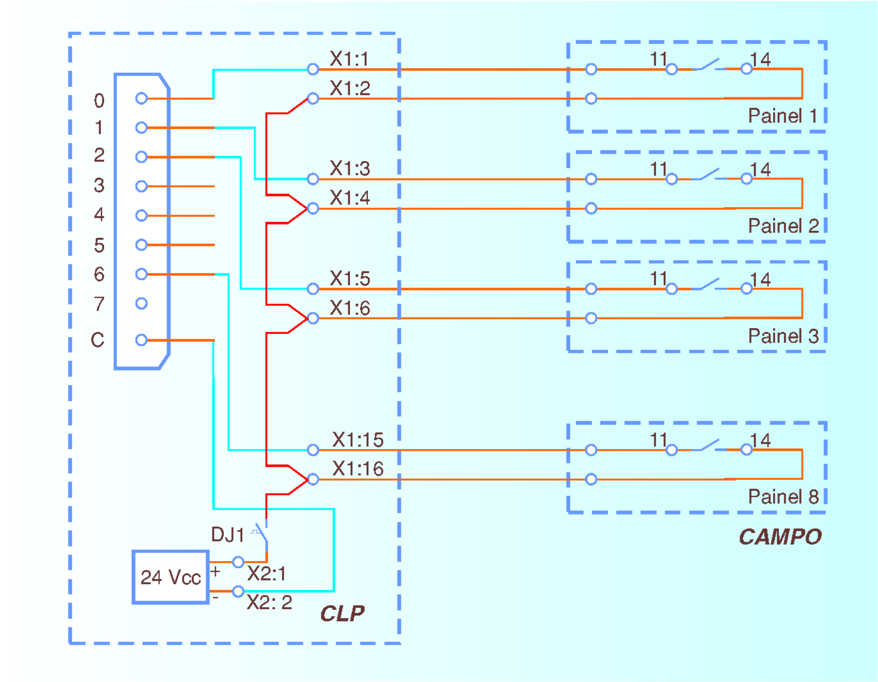


Figura 2 – Conexão de um módulo de 8 entradas 24 Vcc de um CLP com pontos de entrada digital aquisitados de contatos secos localizados em diferentes painéis de campo. Neste caso, temos 2 bornes por ponto de entrada onde 1 borne "molha" o contato com a tensão da fonte do CLP. A desvantagem aqui é o aumento do tamanho do painel do CLP devido ao aumento do número de bornes e aumento da quantidade de cabos entre o painel de campo e o CLP. A vantagem é que o painel fica genérico.

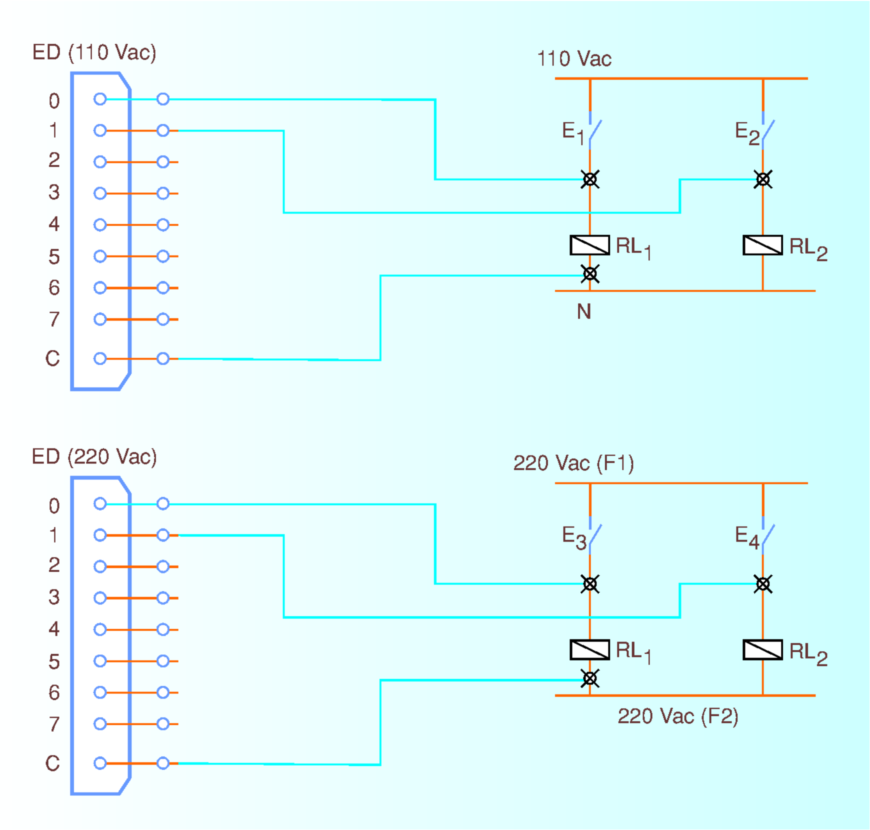


Figura 3 – Conexão de pontos de entrada digital de tensões diferentes utilizando um módulo para cada tensão.

mento do número de peças de reposição.

Outra solução usando somente um módulo de entrada digital é apresentado na **figura 4**.Neste caso foram utilizados os relés auxiliares RL1-AUX e RL2-AUX que funcionam como isoladores elétricos, uma vez que podemos "molhar" seus contatos com a tensão que for mais conveniente. Neste caso, aplicamos a fase da tensão de 110 VAC de forma a utilizar apenas um módulo de entrada digital 110 VAC.

O exemplo visto na **figura 4** atende a maioria dos casos onde os sinais a serem amostrados não mudam com rapidez ou o número de atuações é baixo (tipicamente menor que 30 vezes por dia). Nos casos onde o sinal que está sendo aquisitado muda de estado muitas vezes por dia e o número de atuações atinja a vida útil média de um relé (10 mil atuações) em um curto intervalo de tempo, a melhor alternativa são os isoladores ópticos. Estes equipamentos são especificados levando em conta a tensão de entrada e faixa de tolerância, exemplo : saída ligada se entrada for maior que 60 Vac . Limite da tensão de entrada de 250 Vac. A tensão na saída também deverá ser especificada. Por exemplo: Saída de 110 Vac. Os optoacopladores são fabricados em formato de bornes (1 opto para cada borne) para montagem em trilho, mas também existem fabricantes que oferecem o produto em bases maiores para 8 optos montados em trilho. A **figura 5** mostra a solução do problema da **figura 3** utilizando optoacoplador para 8 sinais.

A vantagem da utilização do opto-acoplador está também na rapidez com que a saída do mesmo comuta de estado acompanhando a mudança de estado da entrada. Este tempo é menor que 0,5 milissegundos e no caso de um relé comum este tempo é da ordem de 3 a 5 milissegundos. No caso de sistemas na área de geração e distribuição de energia, que necessitam aquisitar a o instante que o sinal de entrada mu-

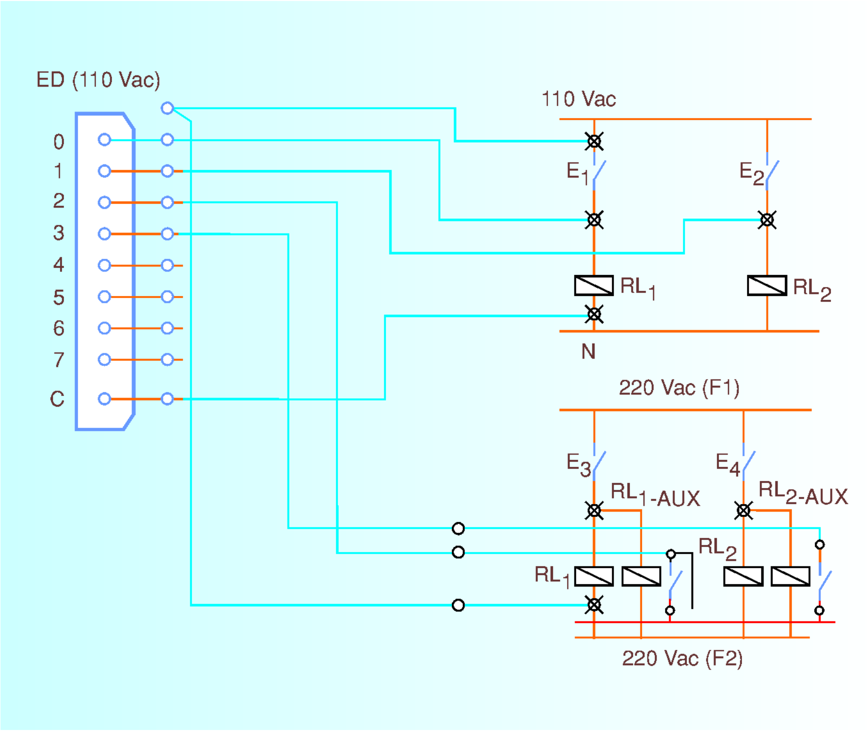


Figura 4 – Uso de relés para adequação da tensão de entrada digital.

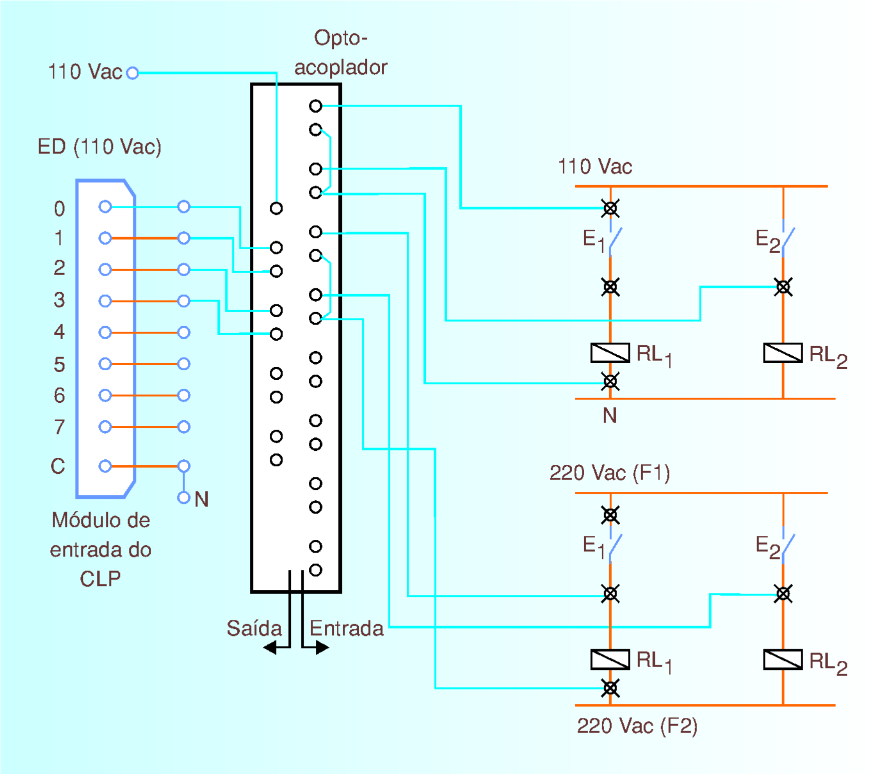


Figura 5 – Opto-acoplador utilizado para isolar sinais , adequando os mesmos para conexão nas entradas digitais do CLP, que possui módulo de entrada digital em uma única tensão com um ponto comum. Notar que o opto possui duas borneiras: borneira de Entrada onde são conectados os sinais do campo e borneira de Saída que é conectada ao módulo de entrada digital do CLP. Observar que no opto-acoplador os sinais são isolados individualmente e a entrada do opto possui dois bornes por ponto, enquanto na saída que vai para o CLP os sinais são "molhados" por uma única fonte.

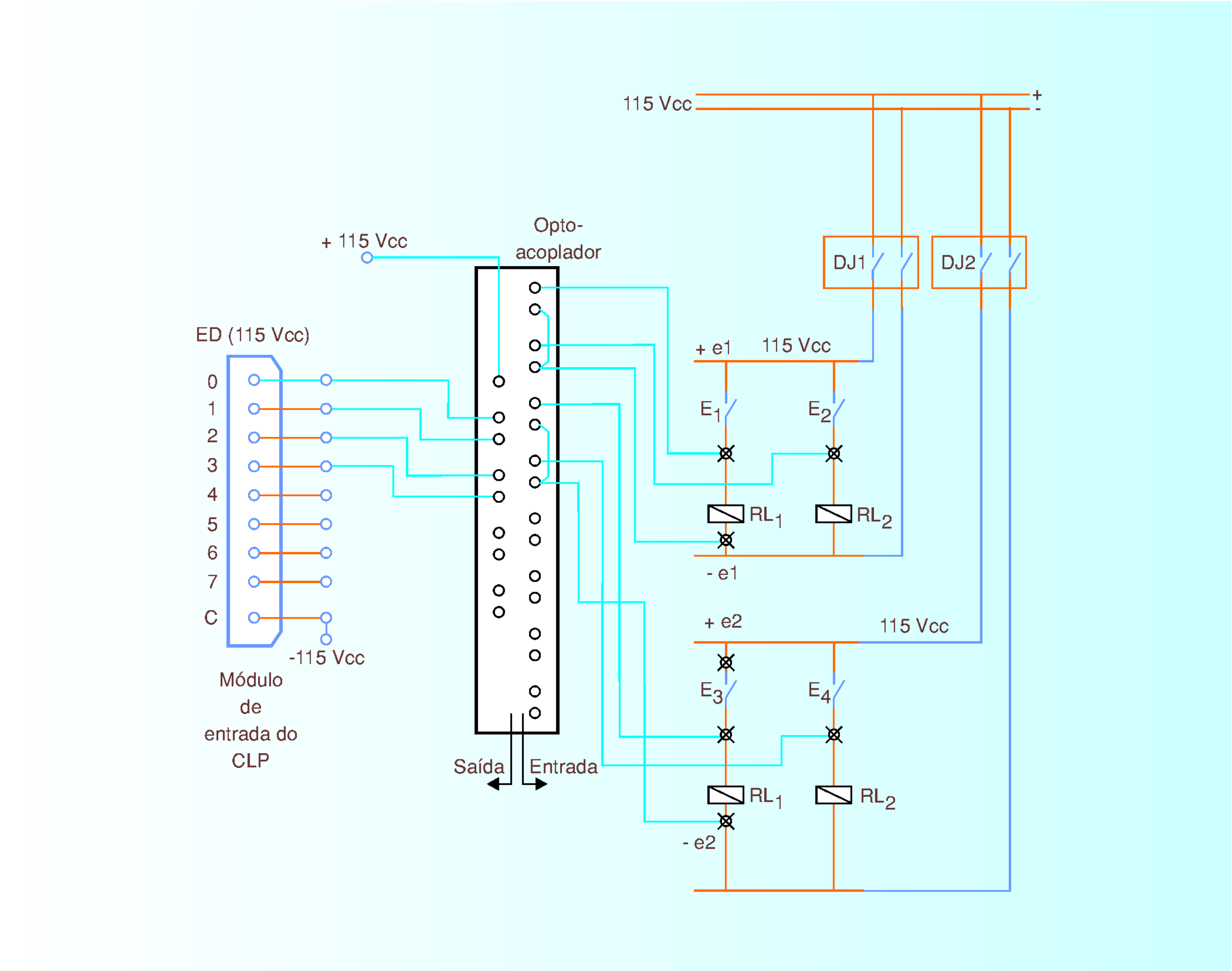


Figura 5 – Os 4 sinais de entrada são da mesma tensão (115 Vcc) mas provenientes de circuitos diferentes : disjuntores DJ_1 e DJ_2 . Neste caso, utilizaremos o opto-acoplador para isolar os sinais e permitir a conexão em um mesmo módulo de entrada digital (com um ponto comum).

dou de estado com resolução de 1 milissegundo a solução de isolação por opto-acoplador é a melhor solução.

SINAIS PROVENIENTES DA MESMA FONTE DE TENSÃO PORÉM DE CIRCUITOS DIFERENTES

Esta situação ocorre quando existem disjuntores para separar os circuitos, situação bastante comum na automação da área elétrica (usinas e subestações). Na **figura 6** apresentamos a separação em circuitos. Nesta figura, a tensão e1 é utilizado em circuitos de proteção e *trip* e a tensão e2 é utilizada para sinalização. Observar que se surgir um problema de curto-circuito na tensão e2, a tensão e1 continuar ligada considerando que vamos utilizar um módulo de entrada digital com 8 pontos referenciados a um ponto comum, deveremos usar opto-acopladores para isolar galvanicamente os sinais e1 e e2 . Caso este cuidado não seja tomado, perderemos a isolação entre os circuitos.

CONCLUSÃO

Para conectar sinais de campo em módulo de entrada digital de um CLP é necessário verificar o esquema mais adequado, que pode ser a conexão direta no caso de todos os pontos serem referenciados a uma mesma fonte de tensão ou o emprego de relés ou opto-acopladores para o caso de pontos de tensões ou circuitos diferentes.

Fornecedores de Opto-acopladores

Conexel – fone: (011)5631-1017
Murr Eletronik – fone: (011)4366-9600
HR engenharia (projetos especiais) – fone: 019-3281-1174

Instrumentação industrial - 4ª parte

A identificação na instrumentação industrial

(simbologia básica)

José Carlos Amadeo

Ao pesquisar um pouco sobre sistemas de identificação, encontrei um artigo publicado na Internet afirmando que Egiptólogos norte-americanos descobriram inscrições gravadas em calcário que consideram ser a escritura alfabética mais antiga conhecida até agora.

Esta descoberta pode ser o elo entre os antigos hieróglifos (1) egípcios e os alfabetos utilizados depois, afirmam esses egiptólogos da Universidade de Yale, que descobriram se tratar também de material do período entre 1900 a.C e 1800 a.C.

As inscrições descobertas parecem ter sido feitas por um grupo formado por um líder militar egípcio acompanhado por mercenários, mercadores e chefes originários da região sírio-palestina. O grupo adotou uma forma cursiva de escritura, derivada dos hieróglifos, com o objetivo de transcrevê-los para sons em sua própria língua semítica (2).

As inscrições parecem corresponder ao egípcio antigo. Ao serem lidas, não se assemelham a uma língua semítica, mas os sons, as letras e os grupos de palavras que os cientistas conseguiram decifrar são muito similares ao acádio (3) (a mais antiga língua semítica) e ao hebraico. Uma das palavras que podem se lidas é *rub*, que significa *Senhor* ou *Mestre*. Em árabe, *rub* quer dizer mestre, e a palavra hebraica *rabbi* vem da mesma raiz.

O QUE É...

1) Hieróglifos – tipo de escritura do Antigo Egito composta por figuras. O nome hieróglifo é a tradução grega da expressão egípcia "*as palavras de Deus*"

2) Língua semíticas – Grupo de línguas faladas na Mesopotâmia pelos antigos árabes, sírios, palestinos e habitantes do norte da África, com a mesma origem.

3) Acádio – língua falada na Mesopotâmia no período entre 2.500 a.C e o início da era Cristã.Também conhecida como assírio-babilônica.

Bom, o que tem a ver toda essa história dos Egípcios com a Instrumentação Industrial?

A Simbologia, que traduzindo do texto acima seria as "*inscrições*" - sempre foi e será um instrumento utilizado para identificação; seja através de mensagens em equipamentos industriais, nos produtos de uso geral, em anúncios publicitários, nos sinais de alerta, em sinalização de perigo, etc.

Os Egípcios já usavam essa técnica para deixar gravado aquilo que queriam transmitir, e um fato interessante foi que essas *inscrições* não se assemelhavam a *língua* que utilizavam, mas sim aos *sons* que elas podiam "*transmitir*".

Viajando pelo túnel do tempo, seria a mesma coisa se em nossos sistemas de identificação de instrumentos, pudéssemos codificar por exemplo um transmissor de pressão por *PSII* – que traduzindo para o *sistema de sons...* Pssiii - representaria o ruído do ar comprimido de um válvula de controle em operação . – *Coisa de maluco...*

Outro fato interessante está relacionado aos Deuses Egípcios cujos nomes eram relacionados sempre com algum objeto ou símbolo:

Por exemplo: Amon – era considerado o rei dos deuses, muitas vezes era associado ao deus Rá, formando assim o deus Amon-Rá considerado o deus que traz o sol e a vida do Egito.

Era representado com a forma de um homem em túnicas reais com duas plumas no cabelo. O deus Amon era acompanhado de sua mulher Mut (representada num corpo de mulher, mas com cabeça de abutre ou coroas).

Vejam a importância que davam naquela época para uma *identificação* – sempre o nome de um deus estava associado a um objeto.

Na Instrumentação Industrial, todo instrumento de processo utilizado em campo deve estar associado com sua aplicação e a área em que está instalado, como também de acordo com sua função específica. (*Veja artigo publicado na Revista Mecatrônica Atual – nº 6 Outubro/No-*

vembro/2002 –Instrumentação Industrial com diversos exemplos desta associação).

A seguir, expomos alguns Símbolos Básicos mais utilizados em *linhas de instrumentação.*

*SISTEMAS DE ABREVIAÇÕES

As abreviações são sugeridas para denotar os tipos de fonte de alimentação.

Estas designações também podem ser aplicadas a alimentação, por exemplo: fluído de purga, etc.

A S - alimentação de ar
I A - ar de instrumento
H S - alimentação Hidráulica
P A - ar de processo
N S - alimentação de Nitrogênio
E S - alimentação elétrica
SS - alimentação de vapor.
G S - alimentação de gás
WS - Alimentação de água

O nível de alimentação pode ser incluído junto à linha de alimentação do instrumento;

Exemplo:

AS – 100 (alimentação de ar a 100 psig)

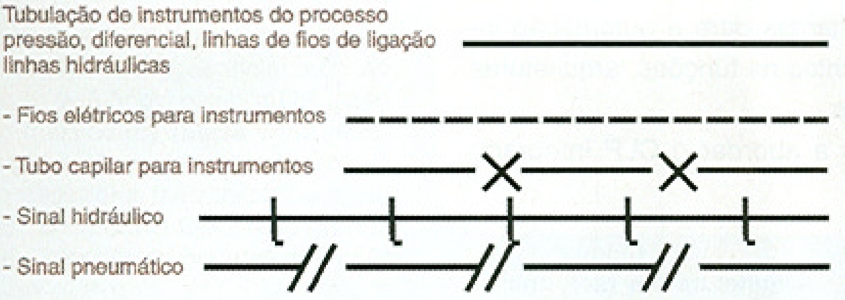
ES – 24 DC (fonte de alimentação em 24 volts-corrente contínua)

Voltando ao início do nosso tema e retrocedendo um pouco na História dos "Deuses Egípcios", as identificações descritas têm muito a ver com a unidade fundamental do sistema ideogramático dos antigos egípcios, ou seja, com Hieróglifo que figurativamente significava escrita de difícil compreensão" – mera coincidência...!

E na Instrumentação Industrial .. é só usar um pouco da imaginação...

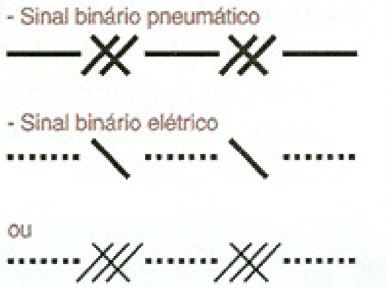
*Símbolos básicos para instrumentos com serviços e funções simples, como também para instrumentos combinados ou dispositivos com duas funções ou serviços

Símbolos básicos mais utilizados em linhas de instrumentação



Nota: O símbolo de sinal pneumático é aplicável para qualquer gás como meio de transmissão. Se qualquer outro gás, que não o ar for utilizado, este gás poderá ser identificado através de uma nota explicativa sobre símbolo do sinal ou de outra forma.

Símbolos binários ("ON - OFF") opcionais



Obs.: a opção "ou" significa escolha do usuário,entretanto, recomenda-se consistência

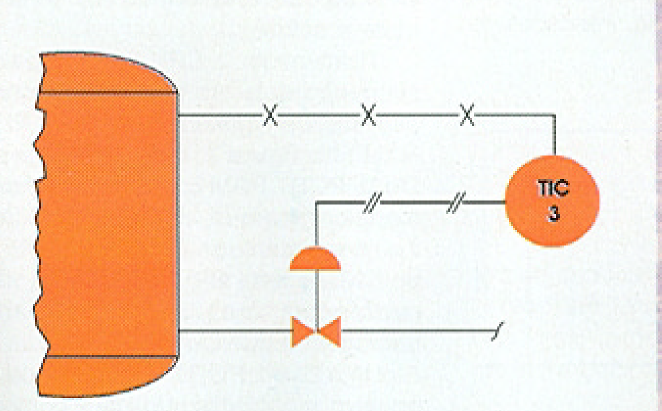


Figura 1 - Indicador e controlador de temperatura montado no local.

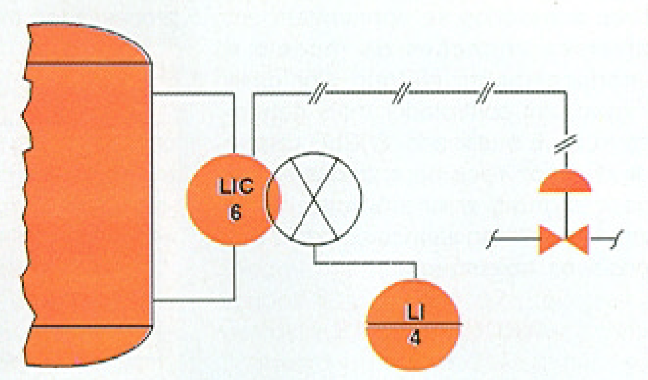


Figura 2 - Combinação do transmissor e indicador-controlador de nível com receptor indicador de nível montado no painel.

Comando Numérico Computarizado

4ª parte

Osmar Brune

No primeiro artigo desta série sobre CNCs, ao descrevermos sua arquitetura, destacamos que um dentre os seus componentes normalmente encontrados é o CLP integrado (Controlador Lógico Programável).

Diversos artigos desta revista já abordaram CLPs, e muitos outros ainda haverão de tratar desse assunto, visto que tais equipamentos são extremamente importantes para a automação industrial e predial. Neles foram descritas as funções, arquiteturas e formas de programação dos CLPs.

Neste artigo, nos restringiremos a abordar o CLP integrado aplicado em um CNC.

Uma máquina-ferramenta não é composta apenas de eixos interpolantes, que podem ser controlados de forma autônoma pelo CNC. Ela também possui dispositivos acessórios, tais como magazines de ferramentas, sistemas de lubrificação, sensores de segurança, e outros. Esses dispositivos acessórios se apresentam em diversas variações de modelo e interfaceamento elétrico. Por esse motivo, um controlador mais genérico, o CLP, é utilizado. O CLP dispõe de diversos tipos de entradas e saídas, digitais e analógicas, para interfaceamento elétrico com tais dispositivos acessórios.

ARQUITETURAS

Existem diversas possibilidades para integrar um CLP com um CNC. A seguir, algumas delas são analisadas.

Arquitetura em rack único

A **figura 1** mostra uma maneira bastante usual de integrar um CNC e um CLP. Os módulos do CNC e do CLP compartilham o mesmo bastidor (*rack*) e fonte de alimentação.

Para o CNC, assume-se que exista uma CPU, onde estão seu processador, memória, interfaces de

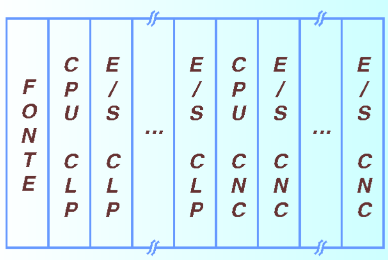


Figura 1 - CNC e CLP Integrados no mesmo rack.

comunicação e outros dispositivos. Além disso, módulos de E/S (entrada e saída) simbolizam, por exemplo, as entradas de leitura de posição dos eixos, as saídas analógicas para comando de velocidade dos eixos, e outras.

Para o CLP, assume-se que exista uma CPU, onde estão seu processador, memória, interfaces de comunicação e outros dispositivos. Além disso, módulos de E/S (entrada e saída) simbolizam, por exemplo, entradas e saídas digitais ou analógicas, para interfaces personalizados com a máquina, conforme descrevemos adiante neste artigo.

A **figura 2** ilustra um blocodiagrama dessa arquitetura. Na parte traseira do bastidor, existem 2 barramentos. Em um desses barramentos são conectados a CPU do CNC e seus módulos de entrada e saída. No outro, são conectados a CPU do CLP e seus módulos de entrada e saída.

Tipicamente, a CPU do CNC possui dentro dela um tipo de memória especial denominado "DUAL PORT RAM". Na **figura 2**, representou-se a DUAL PORT RAM como se fosse um módulo separado, mas, na prática, ela normalmente se encontra na CPU do CNC, e esta CPU se conecta, simultaneamente, aos dois barramentos (do CNC e do CLP).

Uma DUAL PORT RAM é um dispositivo muito utilizado para comunicação entre processadores diferentes, neste caso, entre o processador do CNC e o processador

do CLP. Esta memória, como diz o nome, tem 2 portas, uma para cada um dos processadores. Dessa maneira, ambos poderão acessá-la e trocar informações através dela. Sempre que houver tentativa de acesso simultâneo, um dos processadores terá prioridade, e o outro esperará que o primeiro termine o acesso. Esse mecanismo de comunicação entre processadores é bastante eficiente e rápido.

Observa-se que a CPU do CNC e a CPU do CLP atuam de forma independente, isto é, são dois processadores cooperando para controlar uma máquina -ferramenta, cada um com suas atribuições (arquitetura multiprocessada).

Ciclicamente, deve existir uma comunicação entre ambas as CPUs. Isso porque a CPU do CNC poderá solicitar à CPU do CLP que realize tarefas que são de sua alçada, e vice-versa. E para prover essa comunicação, há a DUAL PORT RAM.

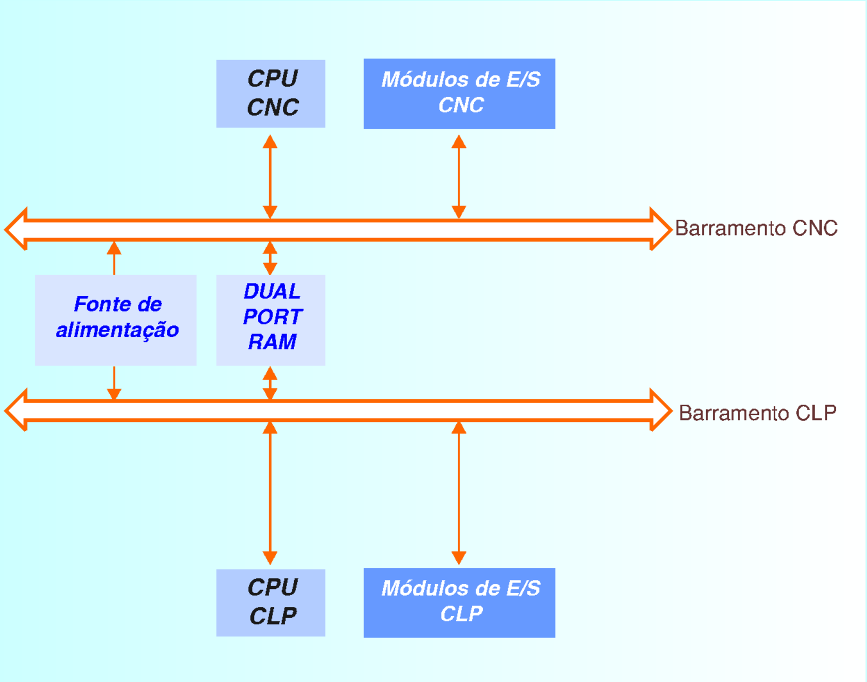


Figura 2 - Blocodiagrama da arquitetura da figura 1.

Arquitetura de CNC duplo e CLP simples em rack único

A **figura 3** exibe um tipo de arquitetura que pode ser utilizado em máquinas mais complexas, por exemplo, um torno duplo. Nele, seriam dois tornos controlados por CNCs independentes, e por um único CLP. A operação desse torno duplo poderia ser a seguinte:

1. Um braço mecânico controlado pelo CLP recolhe uma peça na fila de entrada da máquina, e automaticamente a coloca no torno 1 (controlado pelo CNC1), disparando o programa de usinagem do CNC1 que executa determinadas operações sobre a peça.

2. Terminada a usinagem desta peça pelo torno 1, outro braço mecânico controlado pelo CLP tira a peça do torno 1 e a coloca no torno 2 (controlado pelo CNC2), disparando o programa de usinagem do CNC2 que executa operações complementares sobre a peça. Assim que a peça sair do torno 1, o passo 1 anterior pode ser repetido, para que outra peça da fila de entrada seja processada pelo torno 1. Dessa maneira, o torno 1 e o torno 2 processam, simultaneamente, duas peças consecutivas vindas da fila de entrada.

3. Terminada a usinagem da peça pelo torno 2, outro braço mecânico a coloca na fila de saída.

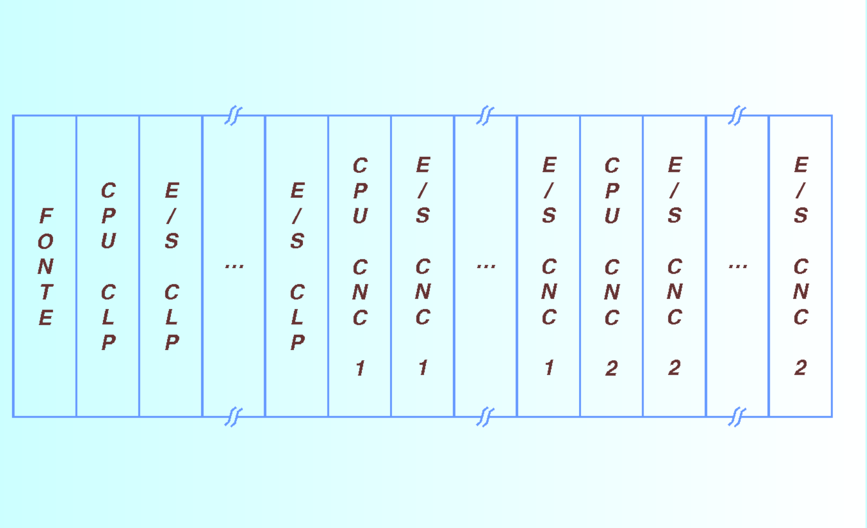


Figura 3 - CNC duplo e CLP simples integrados no mesmo rack.

Este exemplo é bastante interessante para ilustrar algumas funções do CLP integrado:

- Controlar os braços mecânicos que transferem peças entre a fila de entrada, torno 1, torno 2 e fila de saída. Esses braços mecânicos são tipicamente dispositivos especializados com poucas entradas e saídas digitais, que podem ser facilmente controlados por um CLP, e não por um CNC.

- Disparar os programas de usinagem no CNC1 e no CNC2, após instalar, peças nos mesmos.

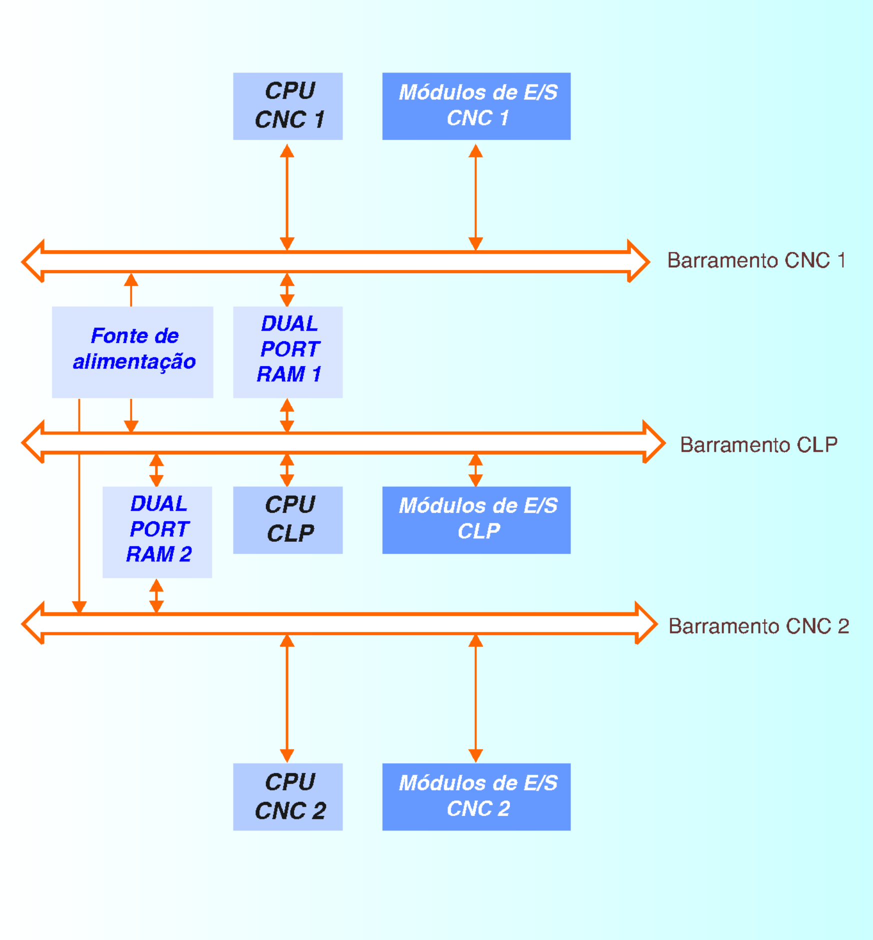


Figura 4 - Blocodiagrama da arquitetura da figura 2.

- Sincronizar as operações. Por exemplo, se o torno 1 terminou sua peça, mas o torno 2 ainda está usinando a sua, o CLP deverá aguardar até que o torno 2 termine a sua, para somente depois transferi-la para a fila de saída, liberando o torno 2 para a peça que virá do torno 1, e liberando o torno 1 para a peça que virá da fila de entrada.

A **figura 4** ilustra um blocodiagrama desta arquitetura. Neste caso, há 3 barramentos, 2 para os CNCs, e um para o CLP. A DUAL PORT RAM 1, na verdade, está embutida na CPU do CNC1, e a DUAL PORT RAM 2 está embutida na CPU do CNC2.

Arquitetura com processador único e rack único

Através da utilização de um processador de alta performance, pode-se ter o CNC e o CLP em uma única CPU (veja **figura 5**). Assim, lançando-se mão de um sistema operacional multitarefa (*multitask operating system*), pode-se reservar algumas tarefas para executar as funções do CNC e controlar os módulos de E/S do mesmo, e outras tipicamente para executar as funções do CLP e controlar os módulos de E/S do mesmo. Nesse caso, é necessário apenas um barramento onde todos os módulos se conectam, sendo o mesmo comandado pela CPU única. Obviamente, a comunicação entre os dois processos básicos (CNC e CLP), também dispensa dispositivos especiais como DUAL PORT RAMs.

Entretanto, um requisito básico é utilizar processadores com performance compatível para controlar, simultaneamente, os dois processos básicos (CNC e CLP), além de utilizar um sistema operacional multitarefa com características adequadas (tempo real, preemptivo, etc).

Arquitetura distribuída com rede de campo de alta velocidade

A introdução de redes de campo de alta velocidade, tais como PROFIBUS DP ou FIELDBUS FOUNDATION, por exemplo, vem possibilitando a criação de arquiteturas distribuídas. Somado a isto, o custo decrescente dos controladores vem provocando o surgimento de diversos dispositivos dedicados, inteligentes e com funções bem específicas. Observe a **figura 6**.

A rede de comunicação de campo é o meio utilizado para interligar todos esses dispositivos. Ela possibilita a descentralização ou distribuição da arquitetura, trazendo com isso diversas vantagens:

- Instalação dos dispositivos nos locais mais adequados. Por exemplo, um módulo de E/S de um CLP pode ser instalado bem próximo dos sensores e atuadores de campo.
- Em função da vantagem anterior, se reduz drasticamente a fiação de campo entre os sensores e o módulo de E/S, o que provoca grande diminuição de custo e espaço, além de um sistema mais limpo e fácil de manter.
- Inerentemente, um CLP pode se comunicar com diversos CNCs (ver exemplo anterior do torno duplo).
- Cada um dos dispositivos do sistema tende a ser menor e mais compacto e, conseqüentemente, mais confiável.
- É possível misturar dispositivos de diversos fabricantes no sistema, desde que a rede de campo seja um padrão regulado por norma (exemplo: PROFIBUS DP, FIELDBUS FOUNDATION, etc). Isso diminui a dependência em relação a um fornecedor único, e conseqüentemente reduz os preços.

Entre os dispositivos inteligentes que foram criados, por exemplo, pode-se citar o SERVO INTELIGENTE. Através da rede de campo, ele recebe da CPU do CNC que o con-

trola, comandos de velocidade codificados, e retorna a posição do eixo. Um ROD acoplado ao motor serve, ao mesmo tempo, para que o servoacionamento saiba e controle a velocidade do motor, e para que calcule a posição do eixo.

Outro exemplo muito importante são os módulos de E/S do CLP integrado. Pode-se utilizar diversos módulos de E/S controlados pela mesma CPU do CLP. Tais módulos podem ser bastante pequenos, e podem ser colocados bem próximos dos sensores que lêem e dos atuadores que controlam. Isto possibilita enorme redução de fiação de campo.

FUNÇÕES DO CLP INTEGRADO

O CLP integrado, dentro de um máquina-ferramenta, pode conviver com um ou mais CNCs que compõem essa máquina. Anteriormente, ao discutir as arquiteturas, analisamos o exemplo de um torno duplo, que possui um CLP e dois CNCs. Naquele caso, observamos que o CLP sincroniza toda a operação da máquina, ordenando que os 2 CNCs iniciem e terminem atividades.

O CNC tem como tarefa principal executar programas de usinagem, os quais são compostos de diversas operações. Algumas dessas operações são posicionamentos e interpolações de eixos, e podem ser controladas autonomamente pelo CNC. Outras, no entanto, são personalizadas e específicas de cada máquina-ferramenta, tais como executar uma troca de ferramenta, injetar líquido refrigerante sobre a peça, etc. As operações personalizadas solicitadas no programa de usinagem, geralmente, são repassadas do CNC para o CLP. O CLP, ao terminar a operação solicitada, informa ao CNC, para que prossiga o programa de usinagem.

Além disso, o CLP também é responsável por executar diversas outras funções independentes do programa de usinagem como, por exemplo, detectar situações perigosas para pessoas ou para a máquina, lubrificar a máquina periodicamente, e outras.

A seguir, são apresentadas diversas funções executadas por um CLP dentro de uma máquina ferramenta.

Alarmes do CLP

Supervisionando sensores, por exemplo, o CLP pode detectar situações perigosas para a máquina ou para o operador, tais como:

- Excesso de temperatura em um motor (sensor de temperatura);

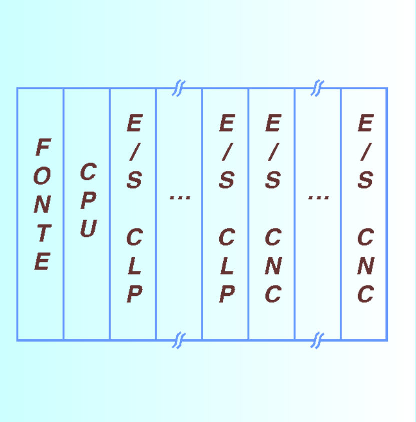


Figura 5 - CNC e CLP compartilhando CPU.

- Abertura da porta durante a usinagem de uma peça (sensor de abertura de porta).

Ao detectar tal situação, uma mensagem de alarme é exibida para o operador, e a máquina é levada a uma situação segura, suspendendo a execução do programa de usinagem, parando os movimentos de eixos, e executando outras ações necessárias para atingir essa condição segura.

Mesmo depois que a condição de alarme desaparecer (por exemplo, o sensor da falha voltar à condição normal), o operador precisará “reconhecer o alarme” antes que a máquina possa ser utilizada novamente.

Mensagens de advertência do CLP

Supervisionando sensores, por exemplo, o CLP poderá detectar situações que demandem a necessidade de gerar uma mensagem de advertência para o operador da máquina. A diferença para o caso anterior (Alarme do CLP) é que esta mensagem não corresponde a uma situação perigosa, que implique na suspensão do programa de usinagem e

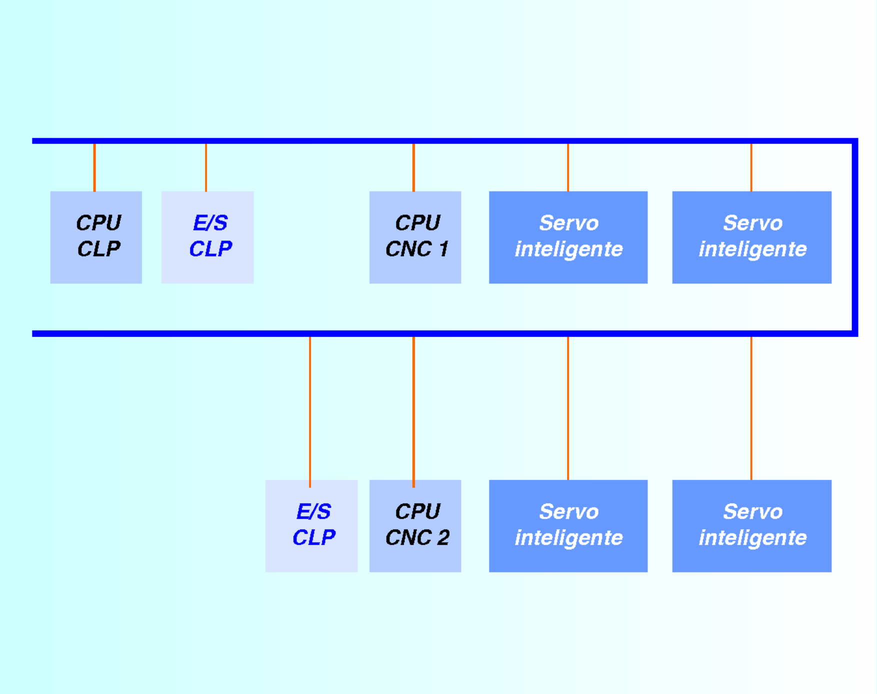


Figura 6 - Arquitetura distribuída.

em levar a máquina a uma situação segura. A mensagem é apenas exibida, e no momento que sua causa desaparece, ela também desaparece automaticamente, sem precisar do reconhecimento do operador.

Painel de comando

Além do teclado e do monitor do CNC, o operador normalmente utiliza um painel de comando, composto de botões e chaves rotativas, através dos quais pode executar diversas ações, tais como:

- Variar a velocidade do movimento dos eixos. Isto tipicamente é feito através de uma chave rotativa de "overridade de velocidade", que tem diversas posições, tais como: 0% (parado), 1%, 2%, ..., 80%, 90%, 100% (normal), 120%, 150%, etc.

- Variar a velocidade de rotação do eixo-árvore (o eixo que gira a ferramenta, ou às vezes a peça, em tornos ou retíficas cilíndricas). Isso tipicamente é feito através de uma chave rotativa de "overridade de rotação", que tem diversas posições, tais como: 50%, ..., 80%, 90%, 100% (normal), 110%, 120%, etc.

- Selecionar um incremento para movimento em modo incremental. Isto é feito tipicamente através de uma chave rotativa de "incremento", que tem diversas posições, tais como: 1 µm, 10 µm, 100 µm , 1000 µµm , 10000 µm, etc.

- Selecionar um movimento em JOG, INCREMENTAL ou REFERENCIAMENTO no sentido positivo. Isto é feito habitualmente através de um botão (+).

- Selecionar um movimento em JOG, INCREMENTAL ou REFERENCIAMENTO no sentido negativo. Isto é feito normalmente através de um botão (-).

- Bloquear o movimento de todos os eixos interpolantes. Isto é feito tipicamente através de um botão (BLQ F).

- Liberar o movimento de todos os eixos interpolantes. Isto é feito geralmente através de um botão (LIB F).

- Bloquear o movimento do eixo-árvore. Isto é feito habitualmente através de um botão (BLQ S).

- Liberar o movimento do eixo-árvore. Isto é feito normalmente através de um botão (LIB S).

- Iniciar o programa de usinagem selecionado. Isto é feito habitualmente através de um botão (CYCLE START).

Comandos auxiliares (M, T, H)

Dentro de um programa de usinagem, podem aparecer comandos auxiliares, tais como os comandos:

- função auxiliar M (M00 até M99)

- função auxiliar H (H0000 até H9999)

- troca de ferramenta (T).

Esses comandos solicitam que o CLP faça alguma ação que o CNC não pode executar sozinho, por exemplo, executar uma troca de ferramenta girando um magazine de ferramentas.

Sensores especiais

Alguns sensores especiais, tipicamente entradas digitais, são ligados em módulos de entrada do CLP, mas precisam ser lidos pelo CNC para executar funções especiais. Alguns exemplos são:

- O came utilizado no processo de referenciamento do eixo (ver segundo artigo desta série, que descreve o processo de referenciamento).

- Um sensor que, ativado, pode interromper um bloco de posicionamento antes do seu término previsto, passando para a execução do bloco seguinte do programa de usinagem. Esse mecanismo é bastante utilizado na medição de peças (apalpadores).

Sincronização de programas

Conforme foi mencionado na seção de arquiteturas, onde se descreve o exemplo de um torno duplo (1 CLP + 2 CNCs), o CLP tem condições de selecionar, iniciar e terminar programas. Isto proporciona condições, por exemplo, para que uma máquina opere sozinha, sem operador.

PROJETO DE APLICAÇÃO DO CLP INTEGRADO

Ao realizar o projeto de uma máquina-ferramenta (nova ou reformada), existe a necessidade de fazer o projeto de aplicação do CLP integrado, que tipicamente se desdobra nas seguintes atividades:

- Elaborar uma lista de pontos de E/S necessários para os dispositivos interfaceados ao CLP, classificando-os conforme diversas características:
  - entrada ou saída
  - digital ou analógico
  - padrão elétrico (24 Vdc, 110 Vac, relé, etc.).

- Selecionar os módulos de E/S (entrada e saída) necessários para esta lista de pontos.

- Fazer o projeto elétrico e mecânico do gabinete que contém o CLP e módulos de E/S, e da interligação elétrica com os dispositivos da máquina-ferramenta.

- Executar a interligação elétrica com os dispositivos da máquina-ferramenta.

- Fazer uma descrição funcional do programa do CLP.

- Implementar o programa do CLP, por exemplo, utilizando linguagem "ladder".

- Testes finais.

CONCLUSÕES

Neste artigo, procuramos mostrar porque um CLP integrado é normalmente essencial em um CNC, e como é utilizado para "personalizar" uma máquina -ferramenta. Um importante campo profissional de atuação em indústrias de máquina-ferramentas novas, e principalmente em "*retrofittings*" das mesmas, é o projeto da aplicação do CLP integrado, com as atividades citadas anteriormente.

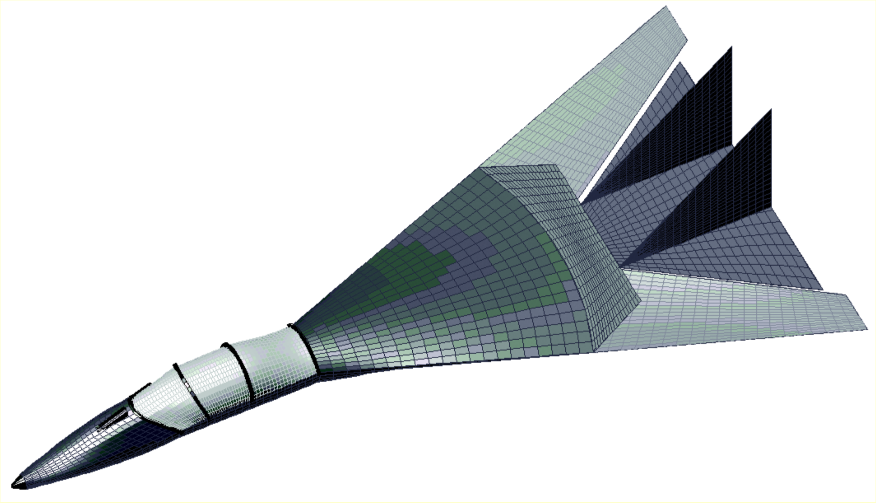
Construindo superfícies complexas e sólidos primitivos

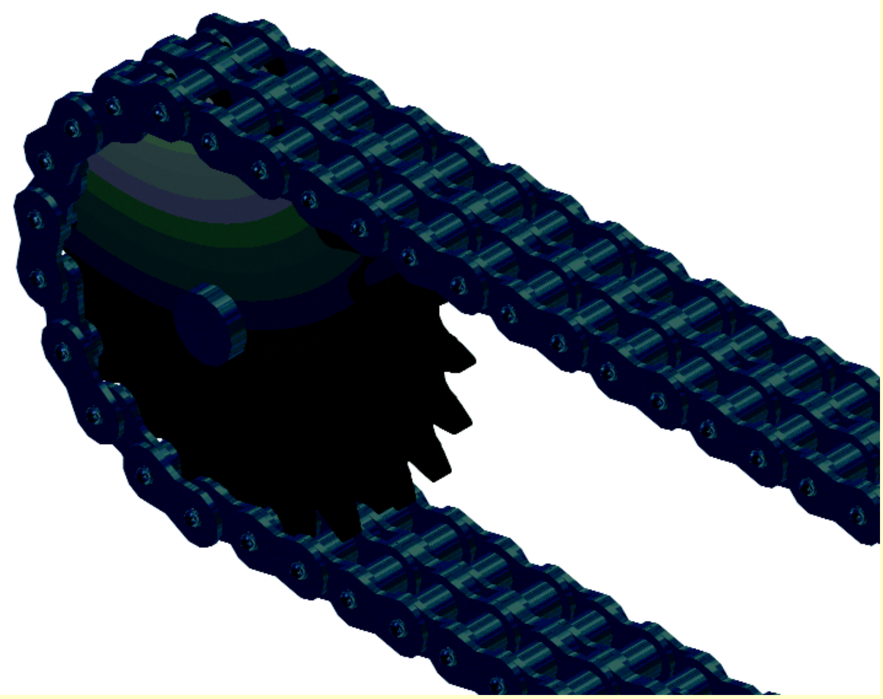
AutoCAD 3D - 3ª Parte

Sérgio Eduardo Macedo Rezende

Nas primeiras partes desta série sobre AutoCAD em três dimensões, começamos a nos posicionar, manipular objetos no espaço e construímos algumas superfícies. Nesta parte, agora, aprenderemos a unir retas e curvas para que sejam uma única entidade, assim poderemos criar superfícies com maior nível de complexidade e teremos dicas de como unir uma superfície com outra. Também começaremos, o estudo de alguns sólidos essenciais que servirão como base para a maioria das construções em três dimensões.

Para encerrar, faremos uma discussão sobre a necessidade de organizar a construção de um desenho quando ele começar a ficar complexo. Utilizaremos como exemplo uma locomotiva a vapor modelada com sólidos.





Unindo vários segmentos

Na maioria dos desenhos onde desejamos aplicar superfícies, encontramos linhas complexas com retas e curvas como mostrado na **figura 1**.

Muitas destas superfícies são formadas por curvas compostas por vários segmentos. Para facilitar a compreensão construa a **figura 2** utilizando linhas e o comando *fillet* para arredondar as quinas. Vamos girar o desenho em torno do eixo de rotação utilizando o comando *revsurf*. Para isto temos que unir todos os segmentos mostrados à esquerda utilizando o comando *pedit* ensinado em duas dimensões e que será relembrado agora. Para unir os segmentos siga estes passos:

Command: ***pedit***

Select polyline: (Selecione um segmento à esquerda)

Object selected is not a polyline

Do you want to turn it into one? <Y> (Dê Enter)

*Enter na option [Close/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltype gen/Undo]: **j***

Select objects: (Selecione todos os segmentos menos o eixo de rotação)

8 segments added to polyline

Enter na option [Close/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltypegen/Undo]: (Dê Enter)

Após utilizar este comando, todos os segmentos em contato formarão uma única entidade. Ao aplicar o *pedit* tenha certeza de que todos os segmentos estão ligados e estão no mesmo plano **paralelo ao plano xy**, caso contrário o comando não funciona. Agora faça uso do *revsurf* para chegar nos resultados da **figura 3**:

*Command: **revsurf***

Current wire frame density: SURFTAB1=20 SURFTAB2=20

Select object to revolve: (Selecione o objeto da esquerda)

Select object that defines the axis of revolution: (Selecione o eixo de rotação)

Specify start angle <0>: (Dê Enter)

Specify included angle (+=ccw, -=cw) <360>: (Dê Enter)

Quando duas superfícies se encontram

Em muitos desenhos com várias superfícies é normal que duas superfícies se apoiem numa mesma linha. Na figura 1 temos várias superfícies, vamos destacar aquelas que representam a parte superior da cabine do avião com cores diferentes (**figura 4**).

Percebemos que o fim da primeira superfície utiliza a mesma linha base que o começo da segunda superfície. Para criarmos a segunda superfície é preciso apagar a primeira para utilizarmos a linha base comum. A dica é construirmos cada superfície em um *layer*. Para entender melhor o problema, faça o desenho da **figura 5**. Construa três arcos no plano xy depois rode o primeiro 10º em relação ao plano xy, o segundo perpendicular a este plano e o terceiro a 45º.

Em seguida digite *layer* e *clique* duas vezes em *New* para criar o

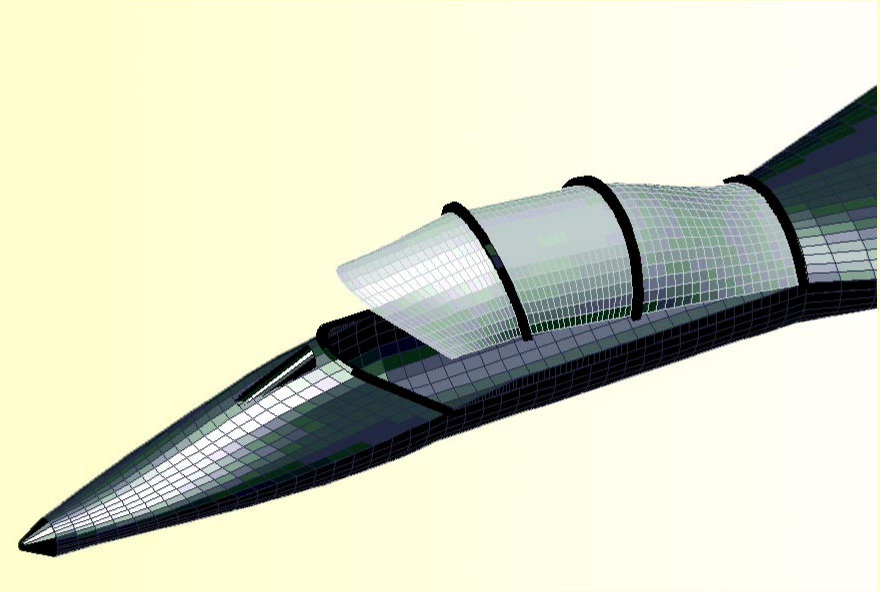


Figura 1 – Bico de um avião.

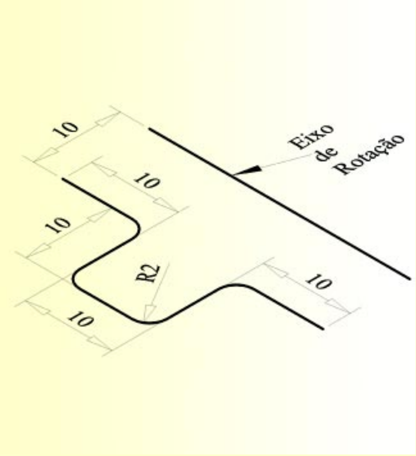


Figura 2 – Exemplo para aplicar o *pedit*..

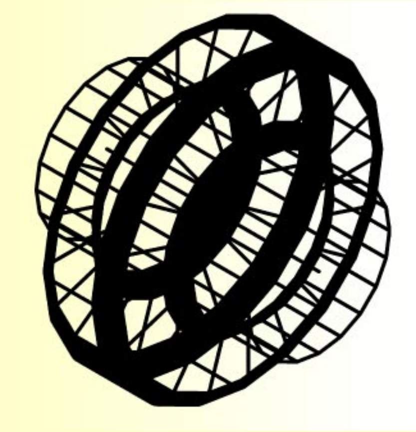


Figura 3 – Aplicação do *revsurf* em curva complexa.

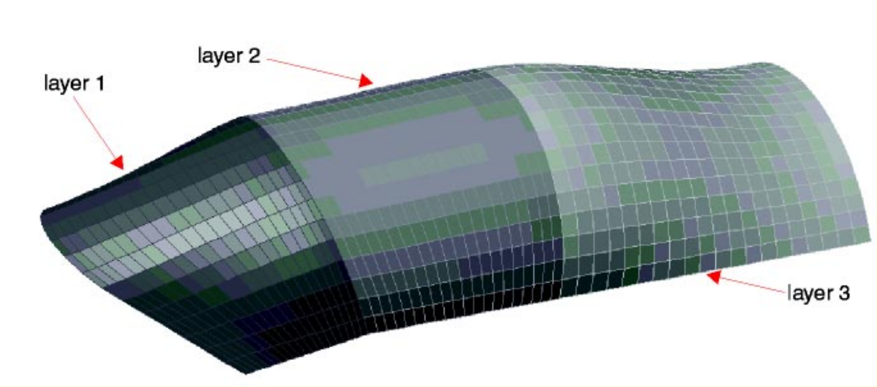


Figura 4 – Três superfícies.

Layer1 e Layer2. Ative o Layer1 *clicando* nele e depois *clique* em *Current.* Agora construa a primeira superfície aplicando o comando *Edgesurf*. Digite *layer* novamente, desative o Layer1 *clicando* no bulbo de lâmpada correspondente, selecione o Layer2, *clique* em *Current* e *clique* em OK. Perceba que a primeira superfície desapareceu, agora crie a segunda superfície e depois reative o Layer1 (**figura 6**, **figura 7** e **figura 8**).

O ícone de UCS em três dimensões

Muitas construções e manipulações são feitas paralelas ao plano xy como, por exemplo, o comando *trim*, o *pedit*, e a disposição de cotas. Dessa forma, se começamos a construir uma figura paralela ao plano xz, precisamos de uma forma para rodar o plano xy a fim de que ele fique paralelo ao xz. Para isto temos o comando *ucs* com o objetivo de modificar o posicionamento das coordenadas.

Um exemplo fácil para entendermos é colocar cota no desenho. Normalmente, ela é paralela ao plano xy. Siga este exemplo:

Command: ***l***

LINE Specify first point: (Clique em um ponto qualquer)

*Specify next point or [Undo]: @-**10,0,0***

*Specify next point or [Undo]: @**0,0,10***

Specify next point or [Close/ Undo]: (Dê Enter)

Command: ***vpoint***

Current view direction: VIEWDIR=0.0000,0.0000,1.0000

Specify a view point or [Rotate] <display compass and tripod>: ***-1,-1,1***

Regenerating model.

Vamos agora colocar uma cota indicando o comprimento da primeira reta, para isto *clique* no ícone *Linear Dimension* na toolbar *Dimension* (**figura 9**) e *clique* nas extremidades da primeira reta.

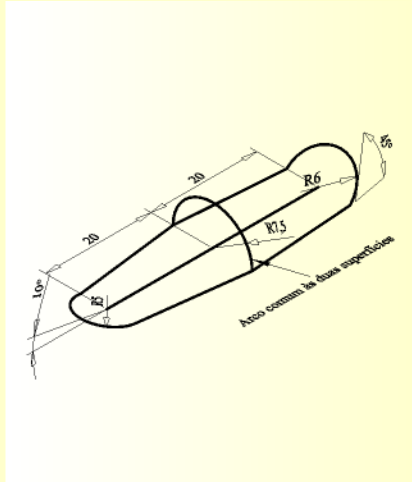


Figura 5 – Exemplo de aplicação.

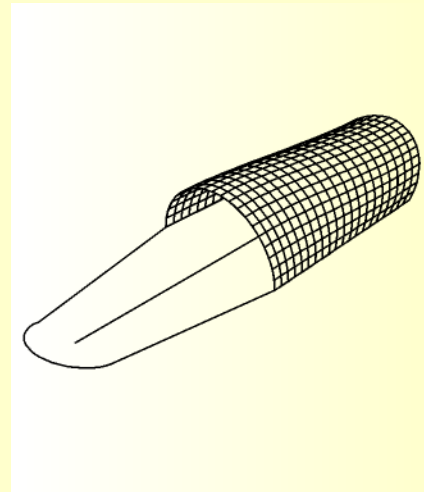


Figura 7 – Superfície 2 no Layer 2.

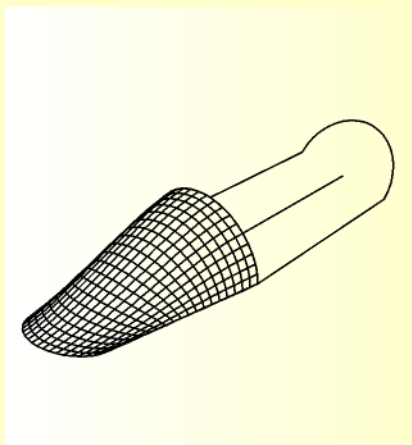


Figura 6 – Superfície 1 no Layer 1.

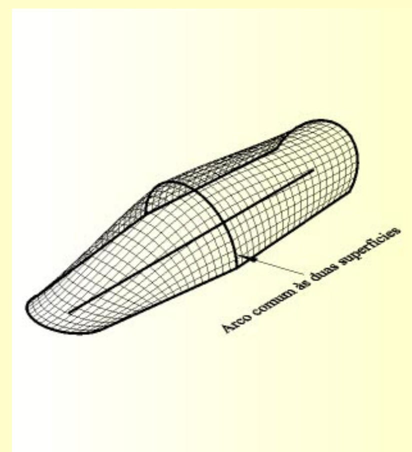


Figura 8 – Superfícies ativadas.

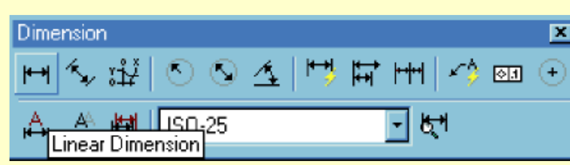


Figura 9 – Toolbar Dimension.

Para definir a nova orientação do plano precisamos de 3 pontos (**figura 10**).

Command: ucs

Current ucs name: WORLD

Enter na option [New/Move/orthoGraphic/Prev/ Restore/Save/Del/Apply/?/World]

<World>: 3p

Specify new origin point <0,0,0>: (Clique no primeiro ponto)

Specify point on positive portion of X-axis <323.4647,209.2016,0.0000>: (Clique no segundo ponto)

Specify point on positive-Y portion of the UC-S XY plane

<322.4647,210.2016,0 .0000>: (Clique no terceiro ponto)

Veja se o ícone de UCS foi rodado da forma correta e em seguida aplique a cota na segunda linha obtendo os resultados da **figura 10**.

Também é possível rodar o ícone de UCS em torno do eixo y para que o plano xy fique perpendicular a posição atual:

Command: ***ucs***

Current ucs name: ***WORLD***

Enter na option [New/Move/

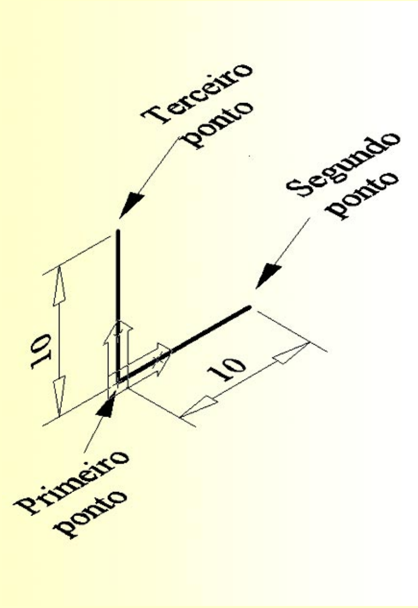


Figura 10 – Resultado final.

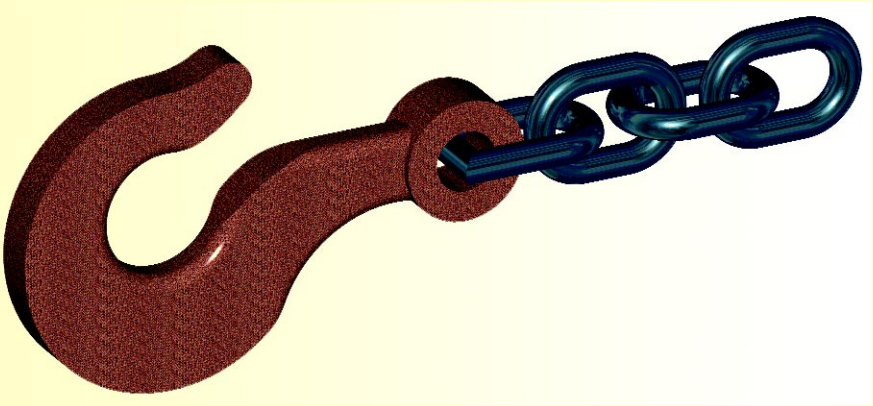


Figura 11 – Corrente e gancho feitos com sólidos..

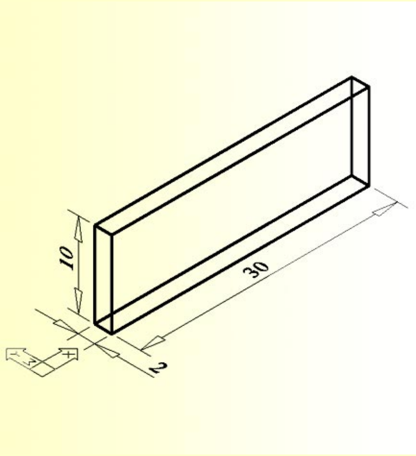


Figura 12 – Box.

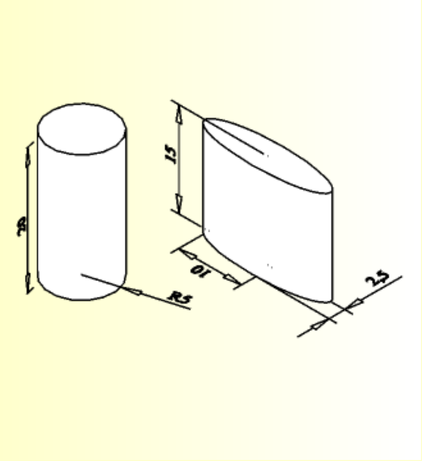


Figura 14 – Cyllinder com *dispsilh*=1.

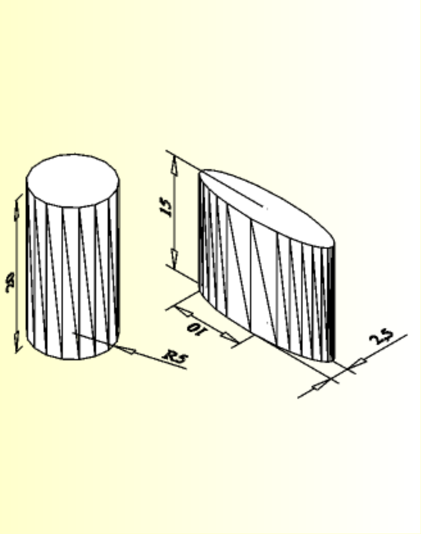


Figura 13 – Cyllinder.

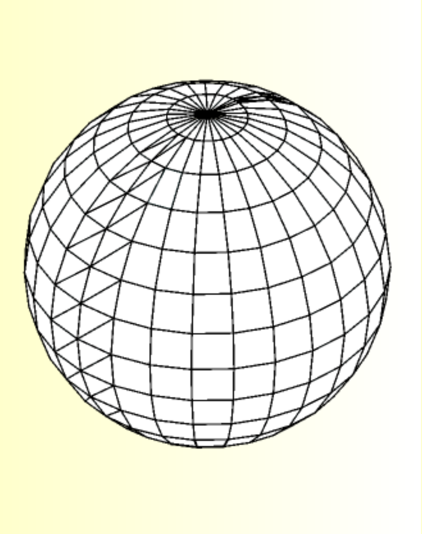


Figura 15 – Sphere.

orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World]
<World>: ***y***
Specify rotation angle about Y axis <90>: ***-90***

Para o ícone voltar a forma original basta digitar *ucs* e, em seguida, teclar Enter.

Trabalhando com sólidos

Até o momento estudamos conceitos que são aplicáveis em várias situações inclusive para superfícies. No entanto, a maioria dos desenhos voltados a Mecatrônica corresponde a robôs e sistemas mecânicos compostos por estruturas, mecanismos, rodas e outros dispositivos. Estes são a combinação de elementos simples (primitivos geométricos) como paralelepípedos, esferas e cilindros (**figura 11**). Outras peças possuem um perfil complexo que pode ser feito em duas dimensões e em seguida *extrudados* pelo AutoCAD.

Box

Este primitivo geométrico é um paralelepípedo e bastante importante quando queremos construir peças formadas por blocos, chapas e cubos. Tudo depende do valor de suas dimensões. Primeiramente digitamos *box*, em seguida *clicamos* no ponto onde será a quina do bloco e depois digitamos *l* para aplicarmos as dimensões. Vamos construir, por exemplo, um bloco qualquer (**figura 12**):

Command: ***box***

Specify corner of box or [Center] <0,0,0>: (Clique na tela)
*Specify corner or [Cube/Length]: **l** (Daremos os comprimentos das arestas)*
*Specify length: **30** (Comprimento na direção x)*
*Specify width: **2** (Comprimento na direção y)*
*Specify height: **10** (Comprimento na direção z)*
*Command: **Hide***

Cylinder

É bastante comum termos desenhos em que precisamos colocar antenas, cilindros pneumáticos, rodas, anéis, isto é, figuras com o formato cilíndrico. Sabendo disto, temos o comando *cylinder* onde basta indicarmos o centro de sua base, o raio e a altura para o AutoCAD construir o cilindro (**figura 13**).

*Command: **cylinder***
Current wire frame density: ISOLINES=4
Specify center point for base of cylinder or [Elliptical] <0,0,0>: (Clique em um ponto da tela)
*Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: **5***
*Specify height of cylinder or [Center of other end]: **20***
*Command: **hide***

Podemos construir também cilindros com base elíptica:

*Command: **cylinder***
Current wire frame density: ISOLINES=4
*Specify center point for base of cylinder or [Elliptical] <0,0,0>: **e** (Elíptico)*
*Specify axis endpoint of ellipse for base of cylinder or [Center]: **c** (Centro do cilindro)*
Specify center point of ellipse for base of cylinder <0,0,0>: (Clique num ponto qualquer)
*Specify axis endpoint of ellipse for base of cylinder: **@2.5,0***
*Specify length of other axis for base of cylinder: **@0,10***
*Specify height of cylinder or [Center of other end]: **15***
*Command: **hide***

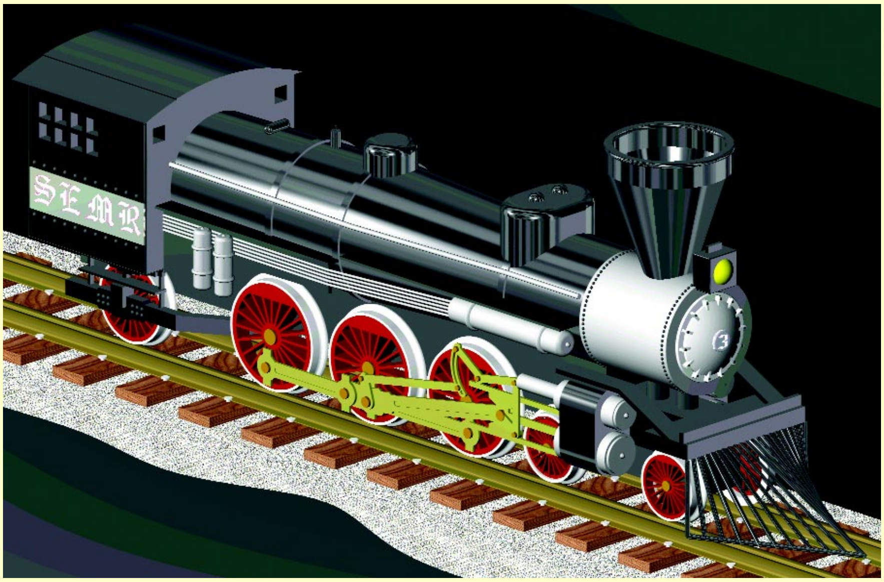


Figura 16 – Locomotiva a vapor tridimensional.

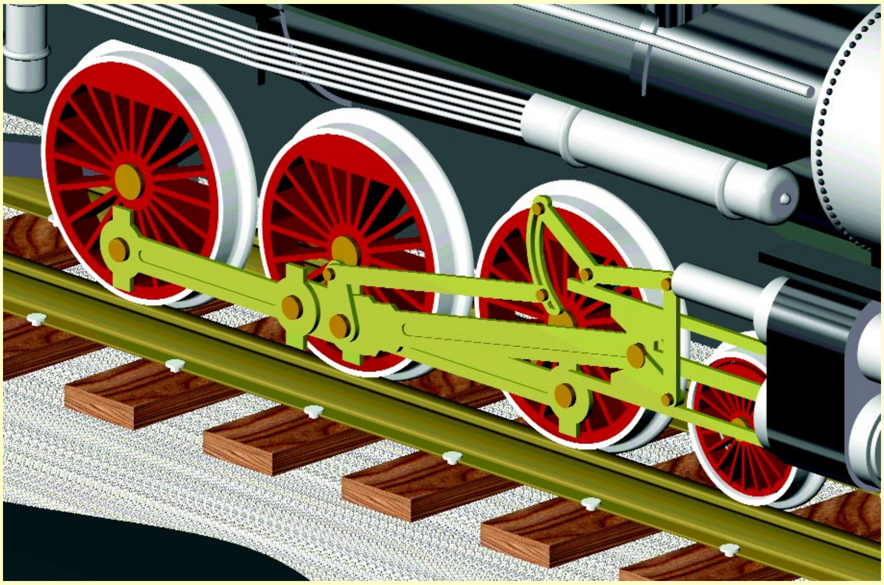


Figura 17 – Detalhe das alavancas.

Dispsilh

Pudemos observar que, quando aplicamos o comando *hide*, as laterais dos cilindros ficaram com arestas. Temos um comando chamado *dispsilh* que é muito útil quando queremos um desenho mais limpo. Faça o seguinte teste nos desenhos da **figura 13**:

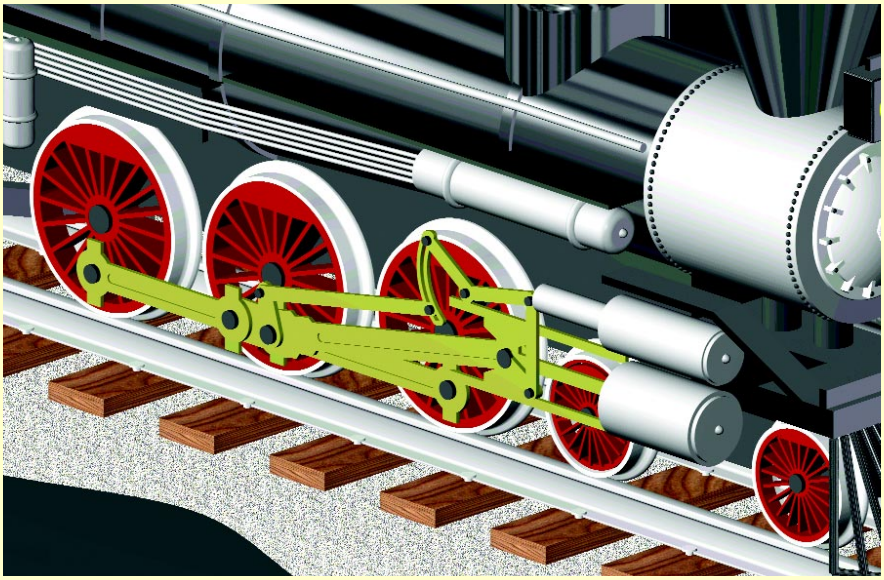
*Command: **dispsilh***
*Enter new value for DISPSILH <0>: **1** (Oculta as arestas)*
*Command: **hide***

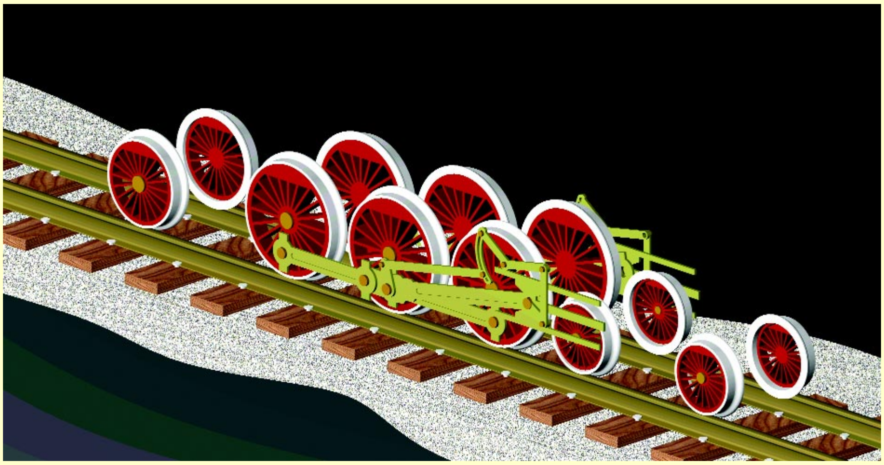
Observe a **figura 14**.

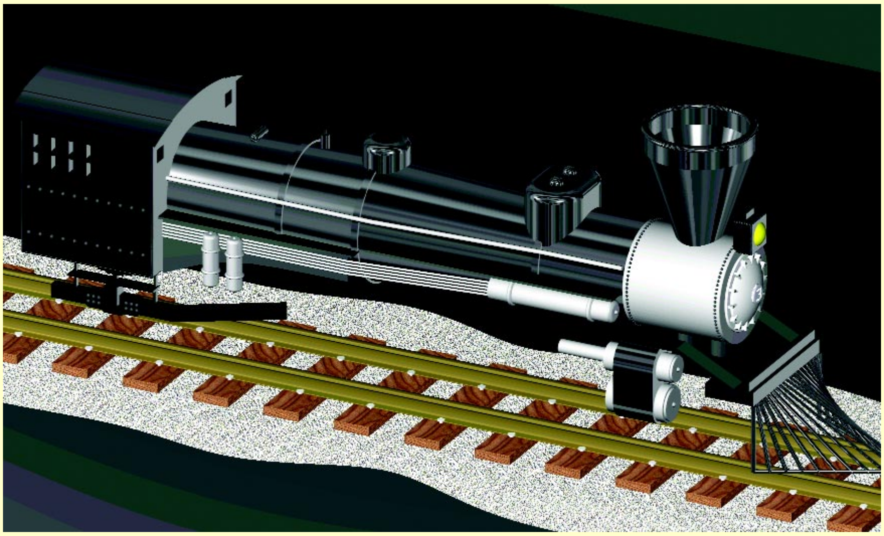
Sphere

A forma de esfera é bastante útil quando queremos representar alavancas, alguns tipos de articulações, rolamentos e mesmo rebites em desenhos mais detalhados. Vamos criar uma esfera simples para praticar este comando.

*Command: **sphere***
Current wire frame density: ISOLINES=4
Specify center of sphere <0,0,0>: (Clique onde será o centro da esfera)


Figura 18 – Mudança do desenho.


Figura 19 –Destaque às rodas e alavancas.


Figura 20 – Destaque à parte superior da locomotiva.

Specify radius of sphere or [Diameter]: ***10***
Command: ***hide***

Atente para a **figura 15**.

Trabalhando com desenhos complexos

À medida que vamos ganhando prática com os comandos, queremos construir desenhos cada vez mais detalhados. No entanto, muitas vezes fazemos isto sem qualquer metodologia perdendo informações importantes e o desenho fica desorganizado. Isto acontece principalmente quando fazemos desenhos sem termos suas dimensões. Uma das dicas é anotar cada medida e posição no espaço, quando criamos os sólidos primitivos (cilindros, paralelepípedos). Assim, quando fizermos outras figuras, saberemos melhor as ordens de grandeza. Outra dica diz respeito ao uso de *layers*, veja a **figura 16**.

Podemos observar que o desenho pode ser dividido em várias partes. Uma delas refere-se às alavancas que impulsionam o trem, outra parte são as rodas, temos a chaminé, as articulações, caldeira, trilhos e muitos outros detalhes. Se modelarmos a locomotiva sem uma metodologia, como seria, por exemplo, se quiséssemos mudar a cor de todas as articulações (**figura 17**)? Seria necessário selecionar uma por uma. Para evitar este problema basta colocarmos estes elementos em um *layer*, o mesmo deveria ser feito para o trilho. Dessa forma podemos esconder este *layer* ou modificar a cor de todos os elementos pertencentes a ele. Olhe o resultado na **figura 18**.

Observe nas **figuras 19** e **20** algumas partes ocultas graças ao uso do *layer*.

Neste artigo encerramos o estudo de superfícies e começamos a construir sólidos. Na próxima parte conheceremos outras geometrias primitivas e modelaremos com o auxílio de um recurso chamado CSG (*Constructive Solid Geometry).* Até lá